Constantin **AGOURIDAS** • Jean-Claude **BERNIER** • Danièle **OLIVIER** • Paul **RIGNY**

CHIMIE ET... JUNIOR

Collection dirigée par Bernard **BIGOT**, Président de la Fondation Internationale de la Maison de la Chimie

LA Chimie DANS LE SPORT

edp sciences

Fondation de la Maison de la Chimie

Les textes de cet ouvrage sont majoritairement inspirés du livre Chimie et sport (Collection Chimie et…, EDP Sciences, 2010) par :

Constantin Agouridas : directeur Programmes et Projets à la Fondation de la Maison de la Chimie, ex-directeur de Recherche Aventis et Galderma, ex-professeur et directeur de Relations Industrielles à l'ENSCP

Jean-Claude Bernier : professeur émérite de l'Université de Strasbourg, ancien directeur scientifique des sciences chimiques du CNRS

Danièle Olivier : professeure des universités, vice-présidente de la Fondation de la Maison de la Chimie, ancien directeur de l'ENS Chimie-ParisTech

Paul Rigny : ancien rédacteur-en-chef de *L'Actualité Chimique*, ancien directeur de l'Institut de Chimie du CNRS

Pour le coin des jeux, Michel Criton est professeur certifié de mathématiques. Il est président de la Fédération française des jeux mathématiques et membre de la rédaction des magazines Tangente et Spécial Logique.

Illustrations : Illustrations (conception - production) : Cécile Parry - www.swities.com

Composition : Nord Compo

Imprimé en France

ISBN : 978-2-7598-1238-7

Tous droits de traduction, d'adaptation et de reproduction par tous procédés, réservés pour tous pays. La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinés à une utilisation collective », et d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (alinéa 1er de l'article 40). Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du code pénal.

© EDP Sciences, 2014

SOMMAIRE

Introduction 4

PARTIE 1 PERFORMANCES ET CHIMIE DU SPORT

1. La fabrique des champions 7

2. Technologie et performances sportives 18

3. Sport et cerveau 23

4. Le dopage 30

PARTIE 2 PERFORMANCES ET CHIMIE DU MATÉRIEL

5. Les matériaux de la performance 40

6. Les textiles et vêtements pour le sport 52

7. Les skis, un équipement de haute technologie 59

8. Chimie et moteurs de Formule 1 73

PARTIE 3 LES CHIMISTES AU SERVICE DU SPORT

9. La chimie et le sport autour du monde 79

10. Les chimistes du sport en France 93

11. Les fiches métiers 96

PARTIE 4 LE COIN DES JEUX

12. Énigmes 110

13. Mots croisés 117

INTRODUCTION

Dans tous les domaines, les sciences (chimie, physique, biologie, …) améliorent la **qualité de la vie** et de la **santé**.

Il vaut mieux les comprendre pour mieux profiter de leurs bienfaits mais aussi pour **préparer l'avenir**. En effet, il y a toujours beaucoup de choses à perfectionner ou à découvrir et derrière les applications des sciences se cachent de nombreux **métiers passionnants**.

Le but de cet ouvrage, destiné principalement aux collégiens, est d'**expliquer** de façon simple, agréable et même amusante, les applications des sciences de la chimie qui les intéressent et de les aider à mieux choisir et à préparer leur **avenir professionnel**.

Le domaine du **sport** est un bon exemple.

Comprendre la chimie du corps liée au sport permet de mieux contrôler ses performances et les effets du sport sur la santé.

Comprendre la chimie du matériel sportif permet de mieux choisir ses équipements et de mieux exploiter leurs qualités.

Et pour ceux qui s'intéressent aux progrès du sport, cela peut leur donner des idées pour de futurs métiers.

Nous espérons que cet ouvrage, testé par des collégiens (merci à Max, Baptiste, Laura…), non seulement intéressera et plaira à leurs camarades, mais leur permettra d'avoir des discussions intéressantes et constructives avec leurs parents et leurs professeurs sur des sujets qui les concernent tous.

Danièle Olivier,
Vice-Présidente de la Fondation de la Maison de la Chimie

LA FABRIQUE DES CHAMPIONS

Dans une compétition sportive, la réussite dépend autant des performances du corps (énergie musculaire) que de la volonté de gagner (chimie de notre cerveau) et de la qualité technique du matériel. La victoire se joue au moindre détail et il est nécessaire d'être le meilleur dans ces trois domaines.

Quel est le moteur qui permet aux champions olympiques de réussir de telles performances ? Quelle en est l'alchimie ? D'où vient l'énergie dans les muscles de ces athlètes ?

Figure 2

© Licence CC-BY-SA-2.00, GFDL Boltbeijing.jpg; Jmex60

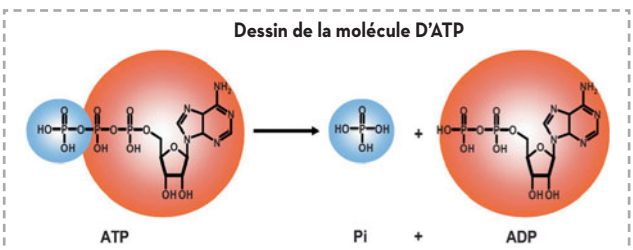
La réserve d'énergie : la molécule d'ATP

ATP : Adénosine triphosphate.
ADP : Adénosine diphosphate.

Quand nos muscles se contractent lors d'une activité physique, ils ont besoin d'énergie.

La molécule d'ATP (représentée sur la *figure 3*) est le réservoir qui peut stocker cette énergie comme une batterie pour l'énergie électrique.

Figure 3

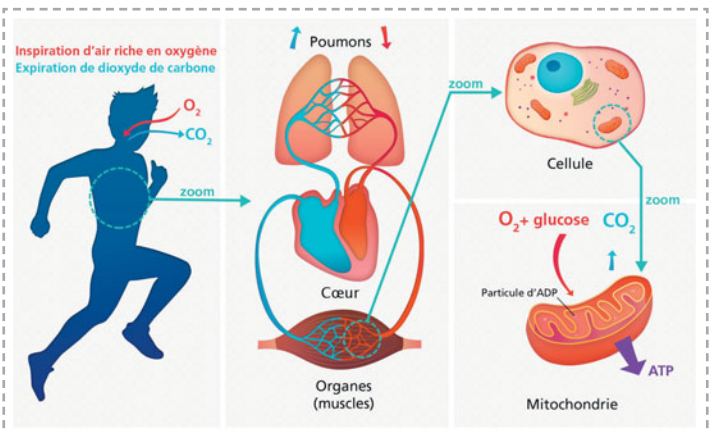


Les ***mitochondries*** sont des petites structures en forme d'œuf à l'intérieur des cellules des muscles. Elles ressemblent à des petits poumons car elles ont une double paroi, celle de l'extérieur laisse passer les molécules et celle de l'intérieur est une véritable usine de respiration de la cellule comme le poumon est une usine de respiration pour l'homme.

Comment cela fonctionne ?

Nous nous procurons cette énergie en respirant et en mangeant.
Quand nous inspirons, l'oxygène de l'air est transporté par les globules rouges de notre sang, de nos poumons vers les milliards de cellules de notre corps et plus spécialement vers les ***mitochondries*** qui sont les « poumons » de nos cellules (*Figure 4*).

Figure 4



Dans ces mitochondries se produit une réaction chimique dans laquelle l'oxygène et le glucose (ou les acides gras) fourni par l'alimentation réagissent avec une molécule contenue dans nos cellules, appelée ADP, pour libérer du gaz carbonique, de l'eau, la molécule d'ATP (qui va servir de réservoir d'énergie) et de la chaleur (énergie dite thermique) qui sert à maintenir la température de notre corps (*Figure 5*).

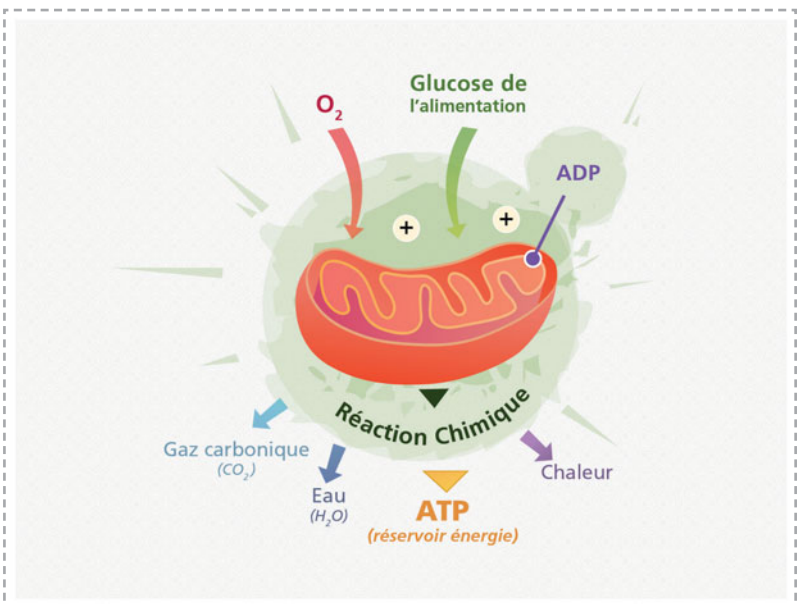


Figure 5

Sur la représentation de la molécule d'ATP de la *figure 3*, on peut distinguer des groupements particuliers d'atomes : le bleu est un groupement phosphate (que l'on symbolisera par Pi). Il peut, par une réaction chimique avec l'eau, se séparer de la molécule d'ATP en reconstituant la molécule d'ADP des mitochondries et en libérant une quantité d'énergie importante qui peut être consommée par notre corps pour diverses réactions biochimiques et notamment pour la contraction de nos muscles.

ATP + eau → Pi + ADP + Énergie

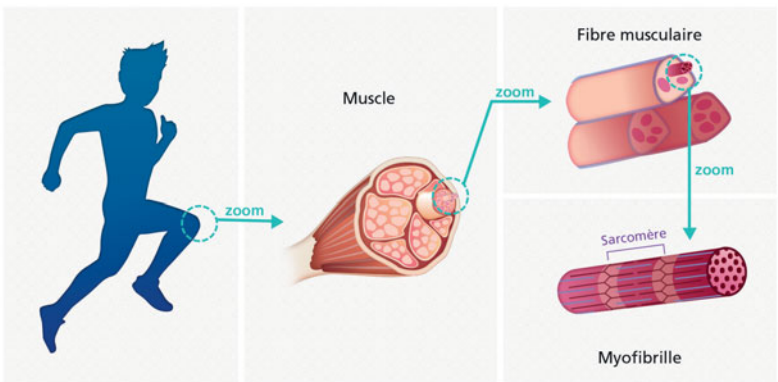
La molécule ATP fonctionne donc comme un réservoir d'énergie puisqu'elle restitue l'ADP, molécule du départ qui permet aux mitochondries d'utiliser l'énergie apportée par nos aliments.

Remarque

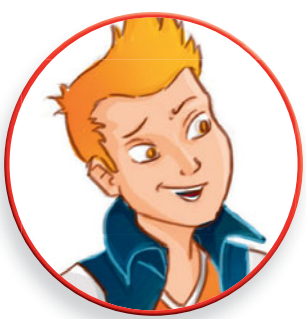
Le glucose et le calcium sont indispensables au fonctionnement de nos muscles.

Le fonctionnement d'un muscle

Figure 6



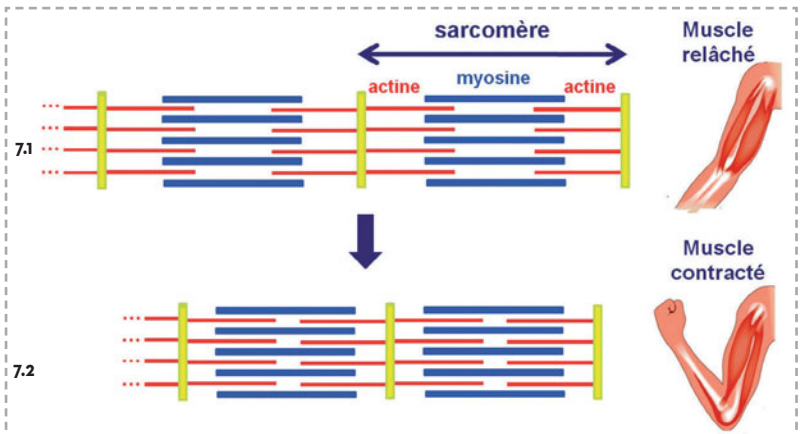
Chaque ***myofibrille*** est constituée d'unités cylindriques mises bout à bout. Chaque unité cylindrique constitue le sarcomère.



De quoi est fait un muscle ?

Nos muscles sont semblables à des gaines qui contiennent des milliers de câbles : les fibres musculaires. Ces fibres musculaires contiennent elles-mêmes des fibres plus petites, les ***myofibrilles*** qui sont responsables de la contraction cellulaire (*Figure 6*).

Figure 7



La *figure 7* représente l'intérieur d'une myofibrille dans deux cas : quand le muscle est relâché (*Figure 7-1*) et quand le muscle est contracté (*Figure 7-2*).
On voit que chaque sarcomère est constitué de petits filaments qui s'empilent et s'imbriquent les uns dans les autres : les filaments d'actine (en rouge) et ceux de myosine (en bleu).
Les filaments d'actine rentrent dans la myosine quand le muscle se contracte.

La *figure 8* permet de regarder ce phénomène avec un plus fort grossissement.

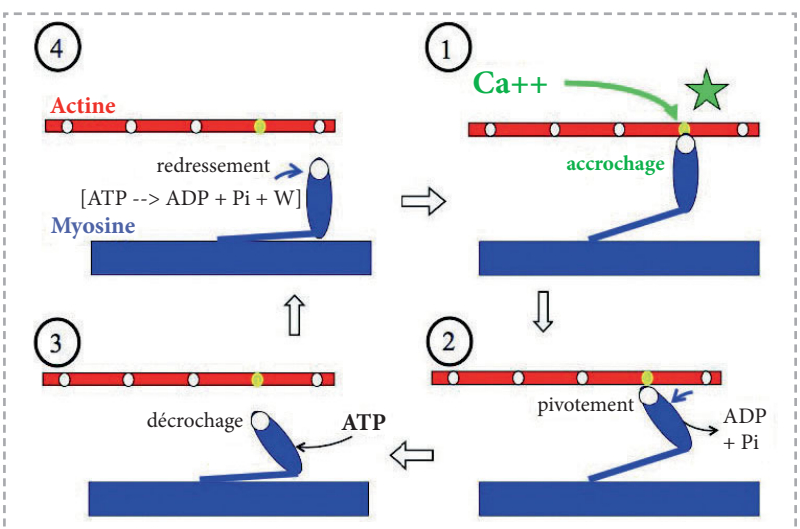


Figure 8

L'actine filamentaire (en rouge sur la *figure 8*) est en fait constituée de deux chaînes de molécules d'actine enroulées en hélice qui sont associées à deux autres molécules en forme de boules blanches et jaunes sur la *figure 8*.
La myosine (en bleu sur la *figure 8*) a la forme de filaments plus gros, constituée également par deux chaînes enroulées en hélice sur lesquelles existent des bras terminés par une tête globulaire figurée par une boule blanche.

Au repos, les molécules jaunes de l'actine repoussent les molécules blanches de la myosine (*Figure 8-4*).

Quand notre cerveau commande un mouvement, des messagers chimiques (c'est-à-dire des molécules) se déplacent à travers nos neurones vers les fibres musculaires et de nombreux ions calcium (Ca^{++}) se fixent sur les molécules jaunes de l'actine, ce qui entraîne un pivotement des chaînes qui peuvent alors s'approcher des chaînes bleues de myosine (*Figure 8-1*).

Remarque

Bien manger, bien respirer, du sucre (glucose), du calcium (laitages…), de l'eau et la chimie de notre corps s'occupe du reste pour faire fonctionner nos muscles !

En même temps, les boules blanches de la myosine fixent les molécules d'ATP qui, en présence de l'eau (dans notre corps), se transforment en ADP et libèrent de l'énergie. Cette énergie est immédiatement utilisée pour accrocher les deux chaînes rouge et bleue, l'une à l'autre (*Figure 8-2*).
Cela correspond à la phase de contraction musculaire de la *figure 7-2*.

L'arrivée d'une nouvelle molécule d'ATP et le départ des ions calcium permet le décrochage et le relâchement du muscle (*Figures 7-1 et 8-3*).

Plus de réserves d'ATP ?

Lorsqu'un sportif fait des efforts intenses, il ressent de la fatigue, c'est le signal que lui envoie son corps pour lui dire qu'il faut arrêter de consommer son ATP, car s'il n'en a plus suffisamment en réserve, le décrochage des deux chaînes ne pourra plus se faire et il aura des crampes.

L'endorphine : la molécule du plaisir

Bien manger n'est pas suffisant pour donner envie de devenir un champion.

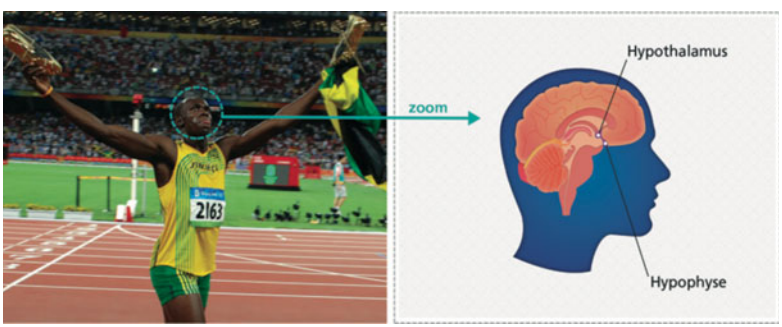
Cette chimie de notre cerveau sera l'élément primordial de la récompense et de la motivation poussant les uns et les autres à se dépasser pour conquérir un titre de champion olympique ou plus simplement pour gagner une compétition. Elle sera expliquée dans un autre chapitre.

Pourquoi courir donne du plaisir ?

Les passionnés de footing savent très bien qu'après quelques minutes parfois pénibles, tout s'arrange et qu'ils ressentent ensuite un plaisir intense, pourquoi ?
Lors d'efforts intenses, deux glandes du cerveau (l'hypophyse et l'hypothalamus) (*Figure 9*) fabriquent une molécule, appelée ***endorphine***.

L'endorphine est une molécule qui supprime la douleur et même la remplace par une sensation de bien-être intense.

Figure 9



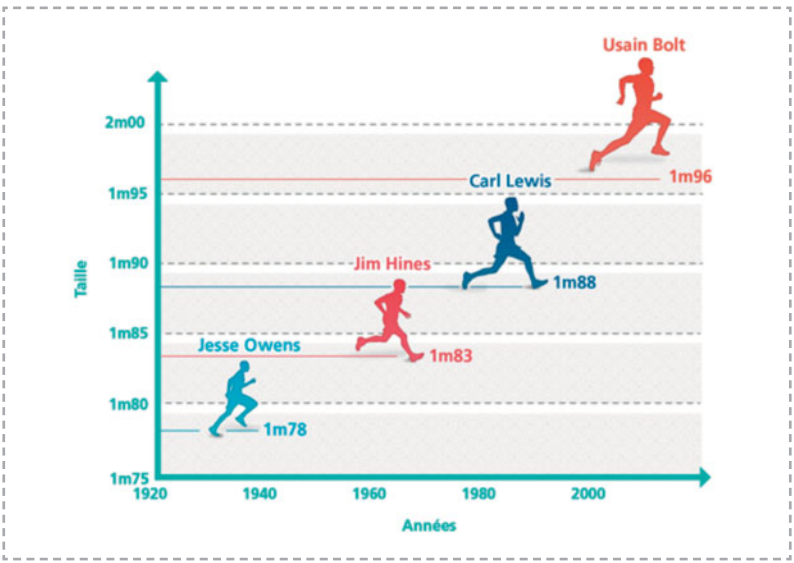
Jusqu'où iront les records ?

Pourra-t-on aller toujours plus loin, toujours plus vite, toujours plus haut ? Nous venons de voir que les efforts physiques dépendent des lois de la chimie, mais ils dépendent aussi des lois de la biologie et de la physique et c'est l'ensemble de toutes ces lois qui structurent le vivant qui est un ensemble très complexe.

Faut-il être grand et fort pour devenir champion ?

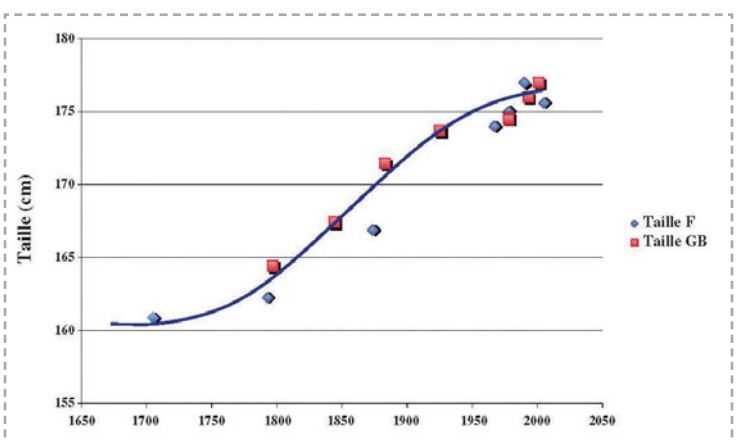
La *Figure 10* montre que les recordmen du monde du 100 m, depuis un siècle, sont de plus en plus grands. En 1836, Jesse Owen ne mesurait que 1,78 m tandis qu'aujourd'hui Usain Bolt mesure 1,96 m et le plus grand joueur en activité de la NBA, championnat américain de basket, mesure 2,29 m !

Figure 10



Dans les sports qui demandent de gros efforts à l'organisme, le sportif le plus fort est effectivement souvent le plus grand. Pourtant, d'un point de vue général, la *figure 11* montre que l'augmentation de la taille moyenne, rapide au début du XIXe siècle, semble atteindre un plafond dans la deuxième moitié du XXe siècle.

Figure 11



© N. El Helou, IRMES 2009.

Y a-t-il une meilleure saison pour devenir un champion ?

L'activité physique, y compris dans le sport de haut niveau, est marquée par le cycle des saisons.

L'étude de l'ensemble des performances des 50 meilleurs sprinteurs français du 100 m, sur l'ensemble de leur carrière de 14 à 38 ans (soit 5 400 résultats), montre clairement une augmentation des performances avec l'arrivée du printemps culminant au début de l'été, moment des grands championnats.

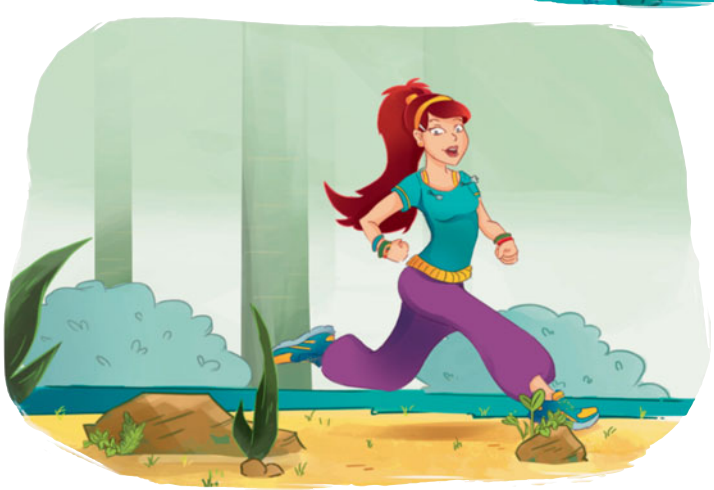
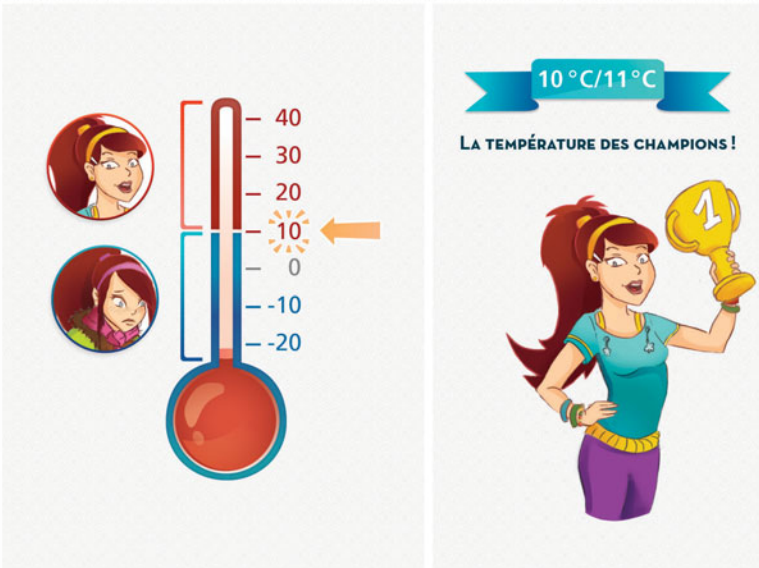


Figure 12

Figure 13



Le coureur de fond Haite Gebreselassie, deux fois recordman du monde en 2007 et 2008, a tenté de battre son record en 2009 à une température extérieure de 18 °C soit 5 °C de plus qu'en 2008. Il a perdu deux minutes, soit 2 % du temps de l'année précédente, à une température plus proche de l'optimum.

Peut-on battre des records s'il fait très chaud ou très froid ?

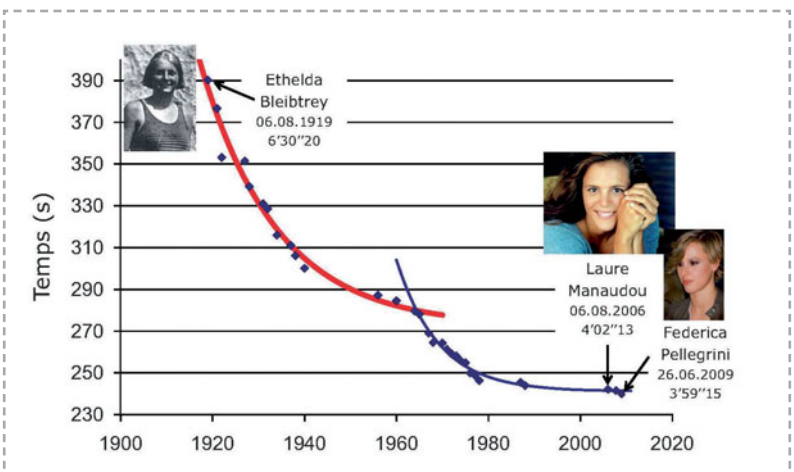
L'environnement et notamment la température ont un impact sur les performances.

On peut, à titre d'exemple, analyser l'ensemble des marathons mondiaux les plus importants depuis 1975 (soit deux millions de données disponibles). La relation entre le temps du vainqueur et la température suit une courbe en U avec un optimum pour une température de 10-11 °C.

A-t-on atteint les limites des possibilités physiques du corps humain ?

Les records du monde sont l'expression des limites physiques de l'espèce humaine. La *figure 14* montre l'évolution des performances sur le 400 m nage libre féminin : on constate une raréfaction des records depuis 30 ans avec des gains de temps relatifs faibles et cette même tendance se retrouve dans tous les sports.

Figure 14



Conclusion

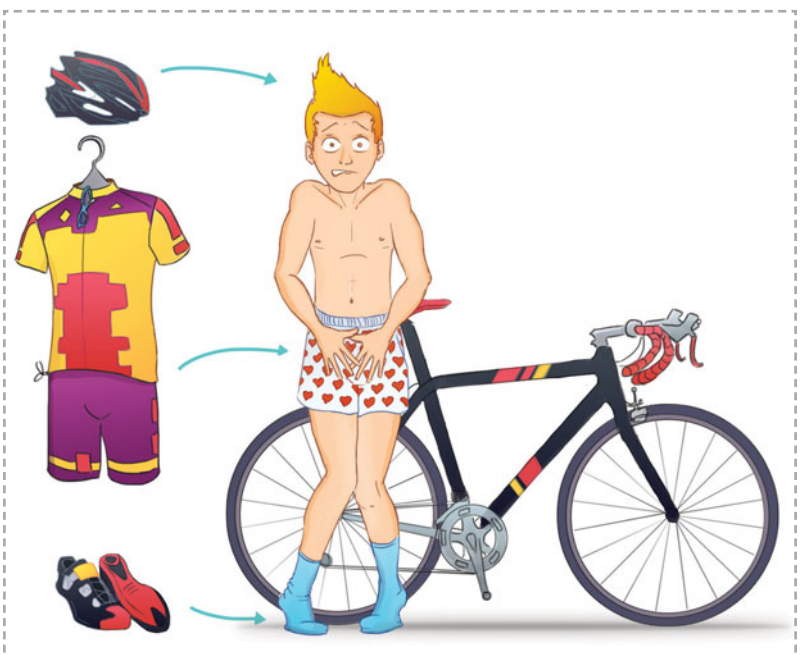
Il n'y a quasiment plus, depuis 20 ans, de progression des performances des dix meilleurs athlètes mondiaux tous sports confondus.
L'acceptation de nos limites et de celles des autres, les renoncements qui en résulteront pourraient bien être des questions centrales dans notre proche avenir.

TECHNOLOGIE ET PERFORMANCE SPORTIVE

La technologie contribue surtout à l'amélioration du matériel sportif avec des progrès remarquables ces dernières années grâce aux sciences physiques et chimiques.

Dès lors que la technologie se mêle du sport et, en particulier du sport de haut niveau, la priorité doit être donnée à l'intérêt du sportif pour qu'il puisse s'y fier sans réticence.

Figure 1



Un guidon bien adapté à un vélo de course soulage le dos, favorise un effort prolongé et permet de gagner de précieuses secondes.

Augmenter la qualité et la sécurité

Le matériel sportif doit être soumis à des tests permettant d'en connaître les limites de façon à éviter tout danger pour l'athlète notamment dans les sports à risques : sports de vitesse, formule 1, motocross, luge, roller, skating…

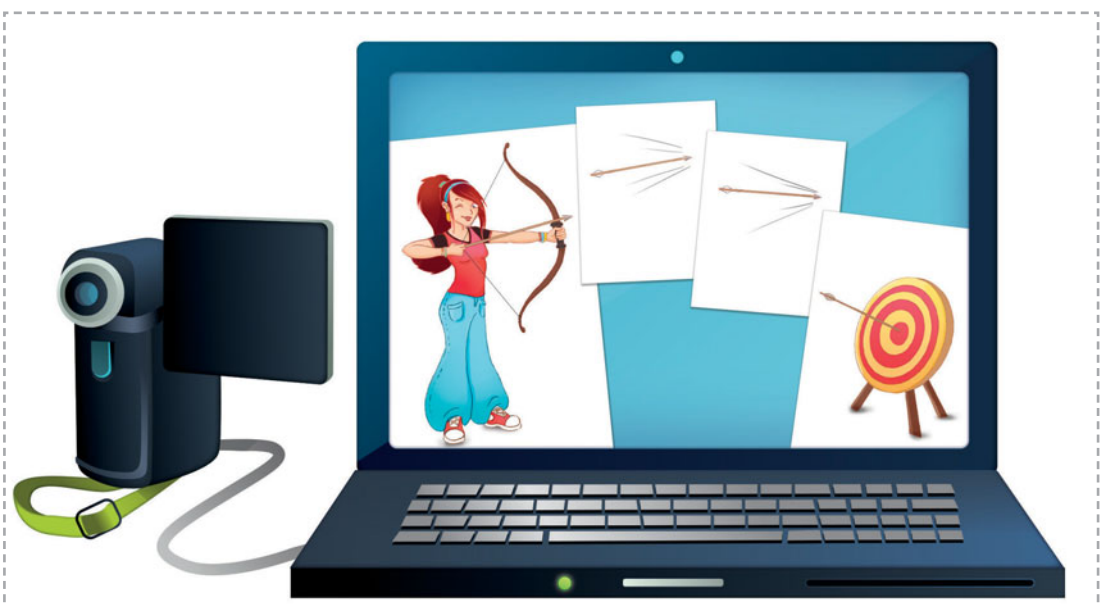
Le confort apporté à l'athlète complète le cahier des charges.

Les casques de protection indispensables dans de nombreuses disciplines (vélo, escalade, escrime, rugby…) doivent être conçus à la fois pour gérer l'effort de l'athlète et son confort en prenant en compte par exemple la transpiration.

Rendre l'entraînement plus efficace

La vidéo peut aider les athlètes à s'améliorer en décomposant leurs gestes image par image, comme dans le tir à l'arc par exemple (*Figure 2*).

Figure 2 Trois étapes du tir à l'arc fait par Léa.



La technologie deviendra-t-elle le principal facteur de l'amélioration des records ?

Il ne faut ni dénaturer la performance sportive, ni créer des inégalités. Selon les disciplines, l'impact d'un changement technologique ne sera pas le même et il faut se poser la question de savoir ce que signifient des records accomplis grâce à des technologies complètement différentes ? Nous sommes dans un contexte où la technologie repousse les limites de l'humain et lui permet de progresser, alors que dans l'éthique du sport c'est la volonté de se surpasser et celle de vaincre, qui doit être décisive.

Figure 3

En aviron, un bateau laboratoire a été conçu avec des capteurs qui permettent aux rameurs de mesurer l'efficacité de leurs gestes (*Figure 3*).

La technologie peut faire la différence entre deux athlètes

Le guidon du triathlète est apparu dans un final de tour de France en 1986 entre le Français Laurent Fignon et l'Américain Greg Lemon et a fait la différence. Le vainqueur (Greg Lemon) était-il bien le meilleur ou celui qui avait su astucieusement amélioré son équipement ?

C'est de plus en plus vrai pour de nombreux sports tels que la voile, le sport automobile, le motocyclisme, le cyclisme…

En voile, certes les qualités du marin et de l'équipage sont d'une importance capitale mais il arrive que la différence se joue sur la technologie des voiliers pour laquelle il faut payer des prix très élevés.

Dans le cyclisme, on ajoute un prolongateur au guidon du triathlète, ce qui permet de gagner en vitesse pour une même puissance musculaire.

Influencer la qualité du matériel

La qualité dépend du type de sport, elle doit faciliter les épreuves ou les matchs de longue durée.

Les raquettes doivent amortir les vibrations, les semelles de chaussures doivent être élastiques et permettre au joueur de rebondir (*Figure 4*)…

Les chimistes doivent inventer de nouveaux matériaux composites.

Figure 4

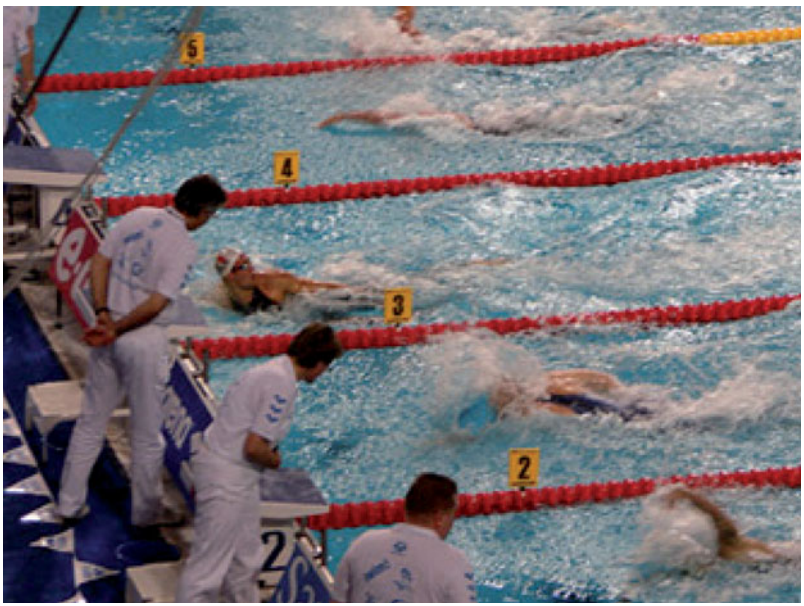
Au tennis, au-delà de la qualité de l'entraînement et des efforts fournis par les joueurs, la différence se fait essentiellement sur la durée et donc sur l'endurance : la qualité du matériel (raquette , cordage, balle, chaussures…) doit faciliter la gestion des matchs de longue durée se succédant sur 15 jours dans un tournoi du Grand Chelem, donc être fiable (pas de casse), mais aussi limiter la fatigue des joueurs.

Peut-on arriver à dénaturer une discipline sportive du fait d'un apport technologique ?

Oui et le cas des combinaisons de natation en polyuréthane, introduites en 2008, soulève ce problème : cette combinaison qui reproduit la peau d'animaux aquatiques tels que le requin, favorise la glisse pour tous, ce qui augmente l'importance du paramètre puissance par rapport au paramètre glisse, c'est-à-dire défavorise les nageurs longilignes par rapport à ceux qui ont des épaules larges et des gros bras.

Après les jeux olympiques de Pékin où plus d'une centaine de records du monde ont été battus, cette combinaison a été interdite dans les compétitions.

Figure 5



Arrivée du 100 m nage libre des JO de Pékin en 2008.

Figure 6

Le nageur américain Michael Phelps (*Figure 6*), sur le 100 m papillon lors du championnat du monde à Rome en 2009, a réalisé un formidable parcours en bermuda contre ses concurrents portant des combinaisons ! Son expression à l'arrivée montrait toute la rage de vaincre d'un champion d'exception.

Conclusion

La performance doit rester un but humain avant tout.
La technologie ne remplace pas le mental du sportif. Le champion, c'est celui dont la volonté est la plus forte, qui sait le mieux doser son effort, dominer sa fatigue, contrôler son geste jusqu'à la fin de l'épreuve. C'est celui dont le cerveau saura utiliser le maximum de ses capacités le jour J, à l'instant T, qui gagnera.

SPORT ET CERVEAU

La perception générale est que le cerveau est le centre de commandement ; tout part du cerveau et notre corps exécute.

Hors, le corps et le cerveau se parlent ; la langue universelle des échanges est celle de la chimie (*Figure 1*).

Comment notre corps pendant et après un effort physique va échanger avec le cerveau et quelles sont les retombées ?

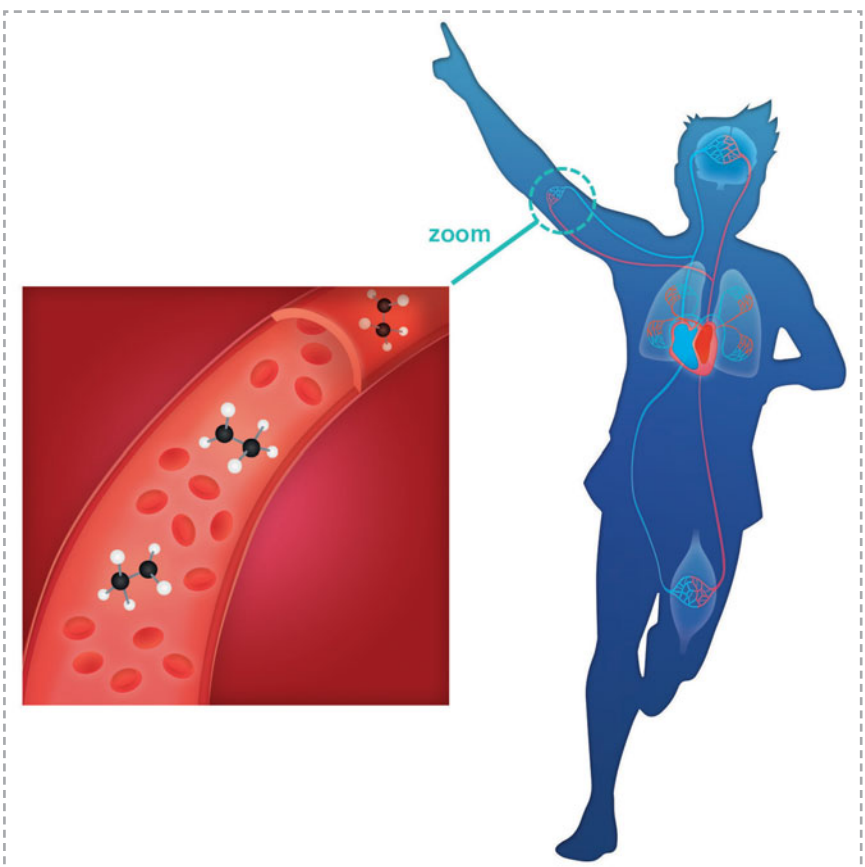


Figure 1

La sérotonine

La ***sérotonine*** est la molécule de l'énergie, de l'éveil et du tonus.

Cette molécule, fabriquée par notre cerveau est un neurotransmetteur, c'est-à-dire qu'elle transmet des informations d'un neurone à l'autre comme le postier qui nous amène notre courrier.

Son déséquilibre (crevaison du pneu du vélo du postier…) en relation avec d'autres neurotransmetteurs tels que la dopamine (responsable des humeurs), ou la noradrénaline, conduit entre autres à des états de dépression.

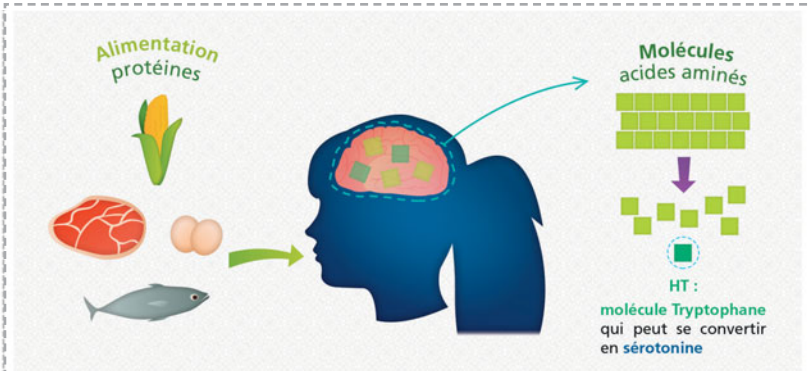
La fabrique de la sérotonine

Les protéines animales (molécules chimiques contenues dans les viandes, les poissons…) ou végétales (molécules contenues dans le maïs…) de nos aliments sont transformées par des réactions chimiques, à l'intérieur de notre organisme, en d'autres molécules dont les acides aminés et les amines (*Figure 2*).

Figure 2

La **sérotonine** aide à réguler naturellement

Le sommeil
La fatigue
Le moral
Les hormones



Si on assimile les protéines à un mur que l'on démolit, les briques ou encore ses constituants élémentaires sont dans ce cas les molécules d'acides aminés dégradées elles-mêmes en amines.

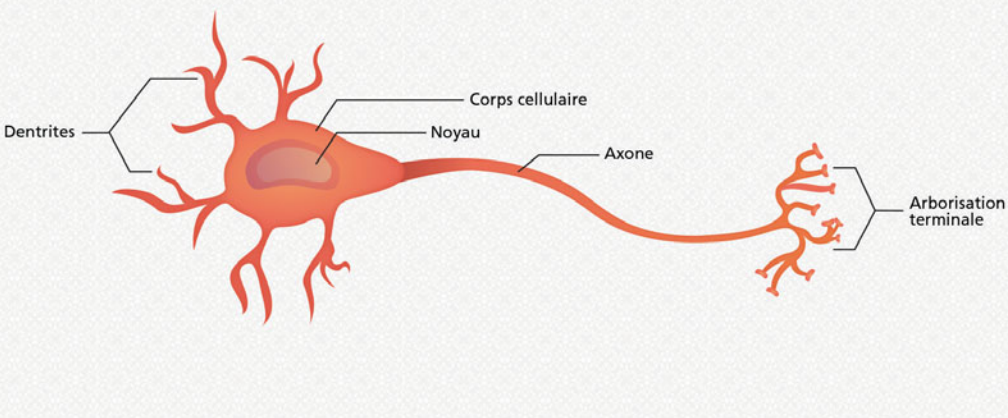
Une molécule nommée tryptophane est particulièrement importante car elle peut traverser la barrière du cerveau (une vraie muraille de Chine) et être convertie dans le cerveau, sur demande, en sérotonine, le neurotransmetteur d'énergie.

Dans notre cerveau, la pièce maîtresse est la cellule appelée neurone (*Figure 3*).

Les racines (corps) assimilent le message, le traduisent par la synthèse de nouvelles molécules, qui à travers l'axone, vont atteindre les dendrites et communiquer l'information aux neurones voisins sous forme de molécules chimiques ou sous forme électrique que des éléments chimiques savent produire à l'image d'une batterie.

Un ***neurone*** est constitué de trois parties : le corps cellulaire, l'axone et les dendrites.

Figure 3



La transmission entre neurones

Cet échange est extrêmement rapide, de l'ordre de quelques dizaines de mètres par seconde et peut atteindre la vitesse de 100 m/s autrement dit 360 km/h dans certaines parties du cerveau (un avion décolle à la vitesse d'environ 250 km/h). Ceci mis en relation avec le poids et la surface du cerveau humain relève de l'exploit ; en effet, le cerveau pèse en moyenne 1,3 kg et la surface du cortex déployé environ 0,25 m^2, c'est-à-dire la taille d'une taie d'oreiller.

Ainsi, pendant une activité physique ou mentale, des influx nerveux sont émis dans notre cerveau et les molécules de neuromédiateurs (telles que la sérotonine) sont transmises de neurone en neurone

comme dans un jeu de relais par libération et fixation sur les récepteurs de l'autre neurone.

Dans le cas de la sérotonine, la molécule synthétisée va être capturée par le neurone voisin et ainsi de suite… des molécules réceptrices appelées enzymes ou récepteurs relayent voire amplifient le message reçu.

Remarque

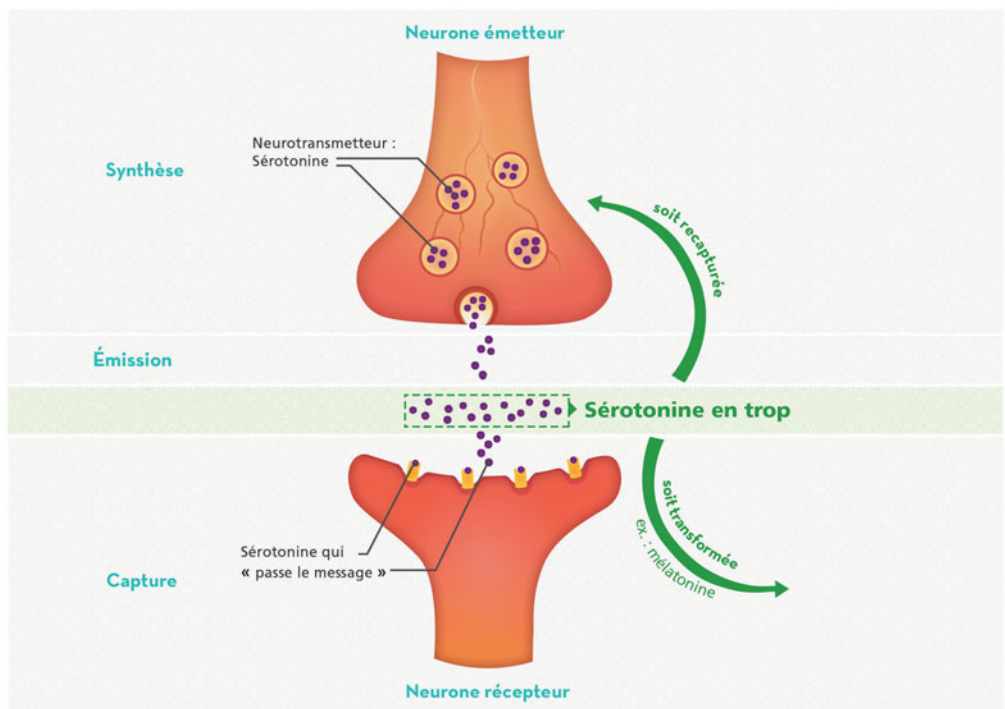
La notion du recyclage avait donc été inventée par la nature depuis que les êtres vivants existent et ce, sans attendre des réflexions sociétales et les recommandations politiques…

Trop de sérotonine ?

Le neurone émetteur dispose, en général, d'un mécanisme de recapture de l'excédent tel un trop plein d'un lavabo lorsque l'on oublie de fermer le robinet. Ainsi, il libère la quantité nécessaire et lors d'un excès, la sérotonine est récupérée pour être relâchée en cas de nouveau besoin (*Figure 4*).

Les neurotransmetteurs (sérotonine entre autres) sont à l'abri dans des petits sacs appelés vésicules. À l'occasion d'un besoin d'énergie, le matériel est prêt, il n y a plus qu'à ouvrir le robinet…

Figure 4



La régulation de concentration du neuromédiateur nécessaire pour exercer ses actions, sans pour autant nuire, est aussi assurée par des enzymes qui vont détruire ou modifier en bien, le surplus de la sérotonine ; par exemple, la transformation de la sérotonine en mélatonine, hormone du sommeil (*Figure 4*).

Couleurs et hormones

La couleur bleu du jour et le soleil éveillent la fabrication de la sérotonine, qui comme nous l'avons vu, est l'hormone de l'énergie et du tonus. En revanche, la couleur rougeâtre du coucher de soleil va déclencher la transformation du surplus de la sérotonine en mélatonine, hormone de la nuit qui favorise le repos essentiel pour l'effort du demain…

Les endorphines

Depuis plus de trente ans, une augmentation des taux d'endorphines dans le sang a été mise en évidence lors des activités physiques.

On sait que les endorphines sont des neurotransmetteurs qui présentent une action analgésique c'est-à-dire anti-douleur, voire même, des effets euphorisants (une sensation de « bien-être ») à très faible dose.

Les ***endorphines*** sont des substances chimiques ; elles sont les molécules du bonheur du sportif.

Remarque

On observe les mêmes réactions lors de la prise de morphine (utilisée comme médicament anti-douleur), molécule préparée il y a plus de deux cents ans à partir de l'opium de pavot et connue depuis très longtemps par les indigènes pour ses effets analgésiques et psychotropes. Notre organisme sait fabriquer à lui seul des endorphines, donc de la « morphine endogène », pour nous soulager des douleurs, nous égayer, nous animer et nous soutenir dans les épreuves. Finalement, nous récompenser par un grand plaisir quand nous faisons de l'exercice physique.

La fabrication d'endorphines est directement liée à l'intensité et à la durée de l'exercice mais aussi à la nature du sport. C'est le cas pour les sports tels que le jogging, vélo, natation, ski de fond, balade en raquette…

Il faudrait maintenir l'effort pendant une demi-heure pour goûter aux effets bénéfiques ; les sports d'endurance sont ceux qui conduisent notre organisme à fabriquer des endorphines : sports de salle, athlétisme, football, rugby, handball, basket, vélo…

La nature est sage et bien faite car même si les endorphines sont les molécules de bonheur du sportif, il n y a pas d'addiction car ces molécules sont aussitôt détruites, par un ensemble de réactions chimiques que notre organisme a su inventer, pour qu'un bon équilibre naturel soit conservé.

Le sport, ralentisseur de la vieillesse

Nous savons maintenant qu'une activité physique pratiquée tout au long de la vie a aussi un effet antivieillissement et que l'exercice musculaire ralentit beaucoup la diminution des qualités du cerveau liée à l'âge.

Nous commençons à avoir des preuves que les réactions chimiques dans le cerveau, comme celles qui produisent la sérotonine ou les endorphines, produisent aussi d'autres molécules telles que les neurotrophines qui favorisent le développement des neurones. Quand les neurotrophines sont associées à une meilleure irrigation sanguine du cerveau provoquée par le sport, elles permettent aux neurones de mieux fonctionner et à la machine de repartir.

Stimuler le cerveau grâce au sport

Une expérience a montré que des rats coureurs développent davantage leurs capacités de mémoire et de repère.

Dans un test de labyrinthe en croix, nous allons étudier l'apprentissage spatial des rats.
Les rats doivent choisir des parcours leur permettant de trouver la nourriture soigneusement cachée.
Le groupe des rats préalablement soumis à un exercice physique régulier trouve plus rapidement le chemin qui mène à la nourriture et a des temps de latence et de réponse plus courts.

Il existe donc un effet très significatif de l'activité physique sur des fonctions élaborées, comme la mémorisation d'un trajet spatial et la mémorisation de conduites motrices à effectuer.
D'autres expériences, faites cette fois chez l'homme, ont montré les mêmes tendances.

Cet aspect tout à fait encourageant pour l'avenir renforce l'idée qu'une activité physique régulière tout au long de l'existence sera un moyen efficace, à l'échelle d'une grande société, pour ralentir voire prévenir le vieillissement cognitif, fléau socio-économique de notre temps.

Le cerveau répond aux muscles

Nous pouvons aussi raisonnablement nous poser la question de savoir si le cerveau, qui reçoit les messages de l'effort physique, dispose d'un indicateur de fatigue qui conduira l'individu à arrêter l'exercice musculaire avant une trop grande fatigue, liée à un surentraînement ou un surtravail physique.

Des recherches montrent qu'il existe effectivement des indicateurs de la bonne marche de toutes les réactions physico-chimiques de notre corps qui veillent à ce que l'ensemble fonctionne en équilibre.

Il y aurait, ainsi, des messages chimiques envoyés par le cerveau pour baisser l'activité motrice avant débordement, mais la preuve nécessite encore des travaux expérimentaux à effectuer en parfaite harmonie entre les chimistes, les physiologistes et les médecins…

Conclusion

Une seule molécule ne saurait pas provoquer le tonus et le bien-être, et déclencher l'alerte de la fatigue. Cette réalité est donc en désaccord avec le principe du dopage (voir chapitre dédié), qui lui, s'adresse à une seule voie de régulation des différents messages. Au contraire, à travers le sport et une activité physique régulière, la chimie du corps s'équilibre pour nous permettre de vivre mieux et plus longtemps…

LE DOPAGE

On voudrait toujours être plus fort ou plus résistant. Cela nous pousse à absorber des produits miracles. Malheureusement, cela conduit aux détestables pratiques du dopage qui finalement nous font du mal.

Comment cela se fait-il ? Peut-on éviter de succomber aux excès ?

Dangereuses potions magiques…

La chimie de notre corps peut être modifiée en absorbant des produits, une potion, bref des « molécules dopantes ».

Cela donne un sentiment de bien-être quand on vient de les absorber et permet de surmonter des difficultés passagères, notre mental est plus combatif et nos performances s'améliorent… si on en reste aux doses raisonnables.

Mais ces produits sont dangereux et peuvent même, par accoutumance, conduire à la mort. Absorber des plantes excitantes produit des effets parce qu'elles contiennent des molécules dopantes qui agissent sur l'organisme, elles sont comme des médicaments et modifient les réactions de notre corps. De même que pour les médicaments, elles nécessitent un contrôle médical.

Remarque

Depuis toujours, les hommes consomment des plantes excitantes : coca, haschich, opium ou encore alcool et café !

Quelles molécules dopantes ?

- Les molécules qui augmentent la puissance musculaire :

– les stéroïdes anabolisants (*Figure 1*) (souvent des molécules dérivées de la testostérone, comme la nandrolone) ;

– les hormones de croissance qui sont une autre catégorie de molécules qui accroissent la force corporelle.

Un ***anabolisant*** est une substance favorisant l'assimilation des protéines chez les êtres vivants qui entraîne un accroissement du système musculaire.

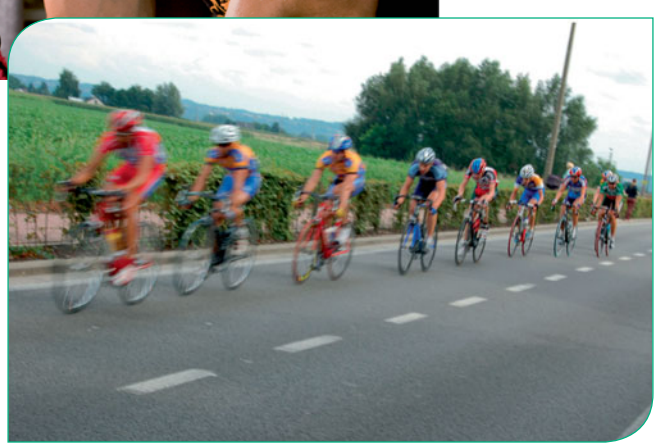
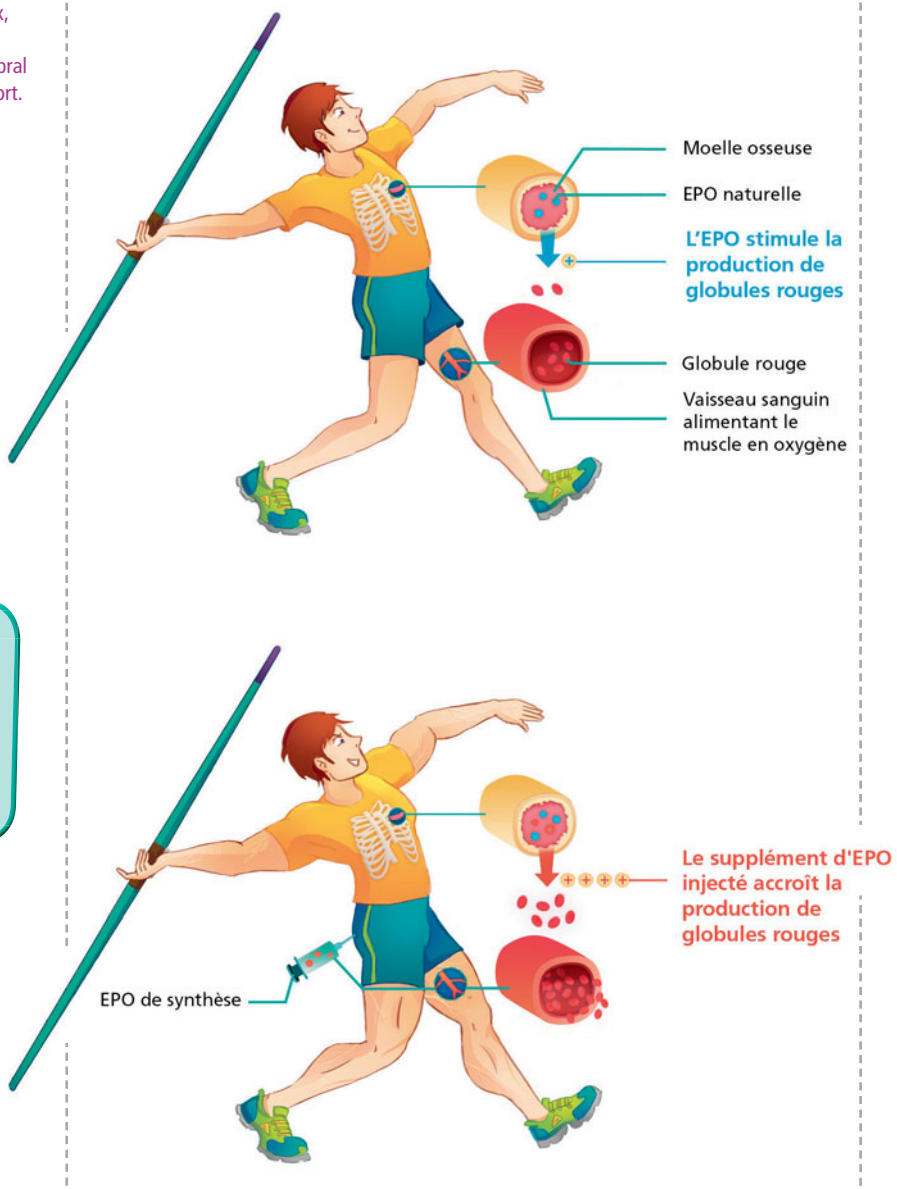


Figure 1

L'EPO est une hormone naturelle qui stimule la production de globules rouges et favorise l'oxygénation des muscles. Ces dopants rendent le sang plus visqueux, ce qui augmente le risque d'accident cardiaque ou cérébral et peut même entraîner la mort.

● Les molécules qui améliorent l'oxygénation, comme le salbutamol ou l'érythropoïétine (EPO) (*Figure 2*).

Figure 2



Remarque

Certains entraîneurs réveillaient les sportifs pour leur faire faire des pompes une ou deux fois dans la nuit – ce qui leur fluidifiait le sang !

● Les molécules pour « se sentir invincible » et pousser ses performances aux limites comme les amphétamines.

Les drogues récréatives, aussi appelées stupéfiants (*Figure 3*) appartiennent à cette catégorie : l'héroïne, la morphine, la méthadone, les euphorisants (cocaïne, caféine, cannabis). Elles agissent sur la chimie du cerveau et du système nerveux et les stimulent.

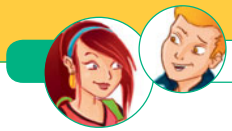
Figure 3

Les ***amphétamines*** sont des substances psychotropes (c'est-à-dire qui agissent sur nos désirs, imaginations et réactions mentales) et psychostimulantes (c'est-à-dire qu'elles accroissent l'activité mentale, retardent le besoin de sommeil) ; par ailleurs, elles diminuent l'appétit.

C'est l'absorption d'amphétamines qui a causé le décès de Tom Simpson au Ventoux, sur le Tour de France 1967.

Remarque

Le cannabis (ou chanvre) a longtemps été utilisé pour ses propriétés psychotropes (c'est-à-dire qui agissent sur l'humeur) ; selon les doses, il provoque euphorie, détente, plaisir, hallucinations. Il peut conduire à une dépendance et un repli sur soi, provoquer un sommeil profond et un état léthargique (sans réaction).



Lutter contre le dopage

Le développement de la télévision a changé le statut du sport. De pratique ludique pour amateurs, il s'est mis à intéresser tout le monde. Un nombre toujours plus grand de compétitions, tournois et championnats a été organisé. Un milieu de professionnels – milieux d'affaires, medias – a pris les choses en mains. Ceci a entraîné des enjeux d'argent énormes – le sport, petit à petit, s'est éloigné du seul monde des sportifs.

Dans les années 1960, plusieurs affaires ont éclaté : jeux olympiques de Rome en 1960, Tokyo en 1964, Mexico en 1968, Tour de France (mort de Tom Simpson) en 1967, football, athlétisme, natation… La prise de molécules dopantes devenait un problème qu'on ne pouvait plus ignorer : la question du dopage et de la lutte contre le dopage était née.

Les individus peuvent décider de se doper, les équipes parfois les y encouragent mais dans le passé, certains États ont eux-mêmes organisé le dopage de leurs sportifs en compétitions internationales.

Après la chute du mur de Berlin (1989), on a trouvé la preuve que la RDA (l'Allemagne de l'Est) avait conduit un vaste programme de dopage de ses sportifs. Les injections de testostérone et d'anabolisants étaient pratiques courantes même pour des enfants.

Aux États-Unis, le comité olympique a reconnu en 2003, que depuis les années 1980, 24 athlètes avaient gagné des médailles après un contrôle positif laissé sans suite.

Dans les années 1990, les résultats des chinois en natation surprennent. Une trentaine de nageurs ont été contrôlés positifs et on a découvert de la somatotropine (une hormone de croissance) dans les bagages d'une nageuse.

La loi sur le dopage en France

Dans beaucoup de pays, des lois anti-dopage ont été votées. Actuellement, il existe en France, la loi du 23 mars 1999, inspirée par la multiplication, à la fin des années 1990, des « affaires » qui montraient la puissance des promoteurs du dopage.
Le dopage est défini comme « …l'utilisation de substances ou de procédés de nature à modifier artificiellement les capacités d'un sportif… ».

Désormais, il existe une agence mondiale antidopage (l'AM), sorte de police, créée dans le but de superviser la lutte contre le dopage sous toutes ses formes, et à encourager une culture du sport sans dopage. Ses activités concernent la recherche scientifique, l'éducation, la supervision de la conformité au Code mondial antidopage – le document harmonisant les règles liées au dopage dans tous les sports et tous les pays.

Remarque

La lutte contre le dopage a été illustrée, par exemple, par la suite de sept victoires de Lance Armstrong aux Tours de France de 1999 à 2005, qui ont dû être invalidées par la justice en 2012.

Quels moyens ?

Pour lutter contre le dopage, il faut pouvoir détecter, dans le sang, des éventuelles molécules dopantes au milieu de nombreuses autres molécules présentes dans l'organisme des champions. Des techniques toujours plus performantes pour ce faire ont été développées

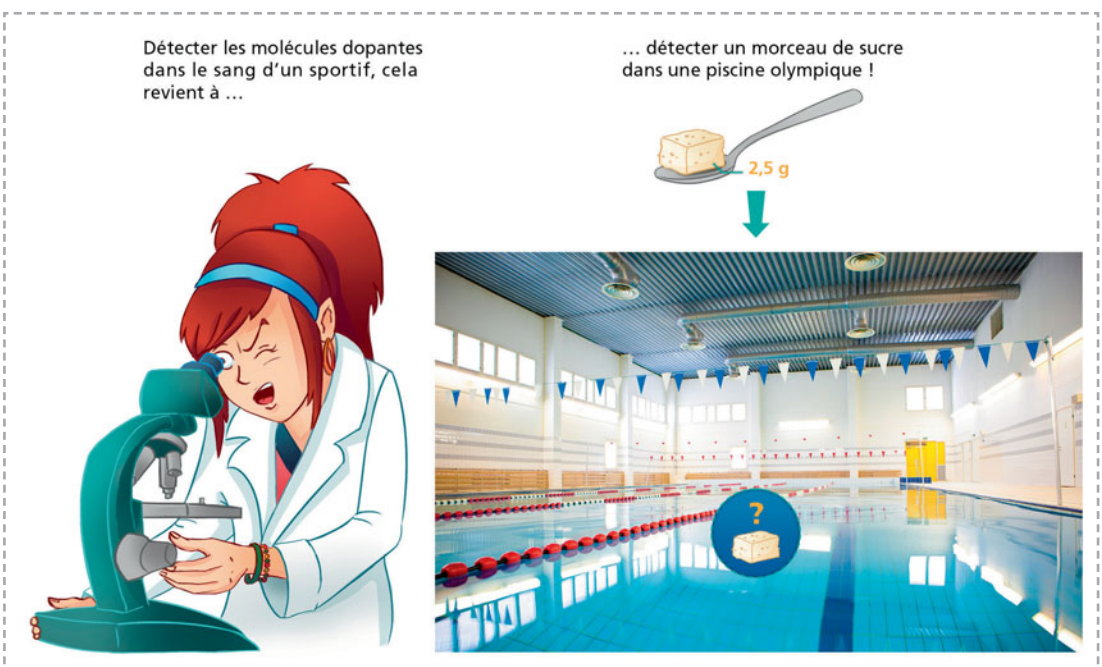
C'est très difficile surtout qu'elles peuvent n'être qu'en très faibles concentrations, parfois pas plus d'un nano-gramme (ng = un milliardième de gramme) par millilitre – (ng/ml). Imaginez : détecter un morceau de sucre dans une piscine olympique ! (*Figure 4*).

Pour les petites molécules, une des techniques les plus utilisées dans les laboratoires d'analyse s'appelle la chromatographie (voir encadré ci-dessous), aujourd'hui très performante pour traiter le sang ou les urines. La rapidité des analyses est aussi très importante, car on a besoin de diagnostics « en direct » pendant les compétitions sportives. Pour les grosses molécules dopantes également (comme l'EPO ou l'hormone de croissance), des techniques très performantes sont disponibles.

Remarque

Une analyse qui réclamait 25 minutes en 1945 ne demande plus, aujourd'hui, que deux à trois minutes.

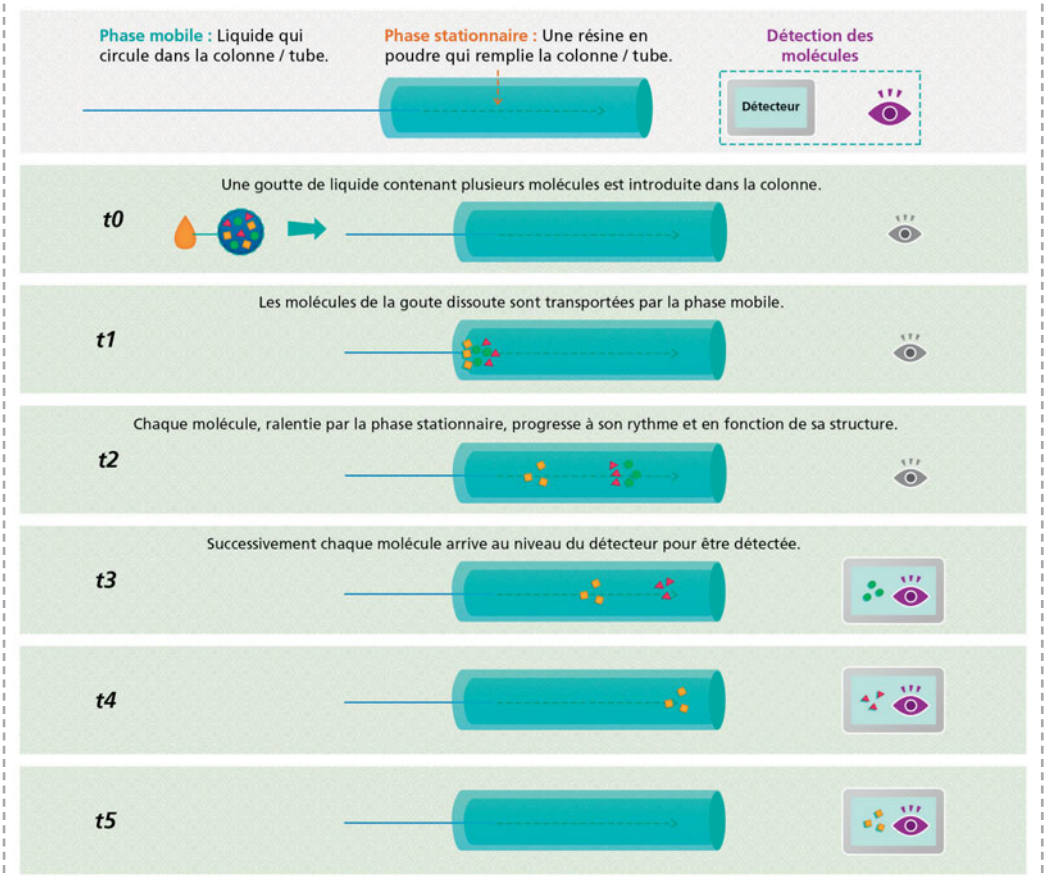
Figure 4



La chromatographie

Il s'agit de la réalisation d'un tri entre les différentes espèces moléculaires d'un mélange. On va ainsi forcer toutes les molécules à effectuer un parcours commun parsemé d'obstacles : certaines espèces le franchiront aisément, d'autres auront plus de difficultés. À l'arrivée, il y aura un échelonnement.
Pour entraîner les molécules, il faut les véhiculer dans un fluide – la phase mobile – qui peut être soit un liquide soit un gaz (*Figure 5*).
L'obstacle à franchir, qui ne doit pas être entraîné par la phase mobile, doit être fixe et produire des effets reproductibles : il constitue la phase stationnaire. Cette phase stationnaire, le plus souvent emprisonnée dans une colonne, peut être un solide ou un liquide immobilisé sur un solide.

Figure 5



Le dopage du futur ?

L'interdiction du dopage n'empêche pas les tentatives pour le pratiquer en contournant la loi… malheureusement ! L'invention, d'un côté, de nouvelles façons de se doper plus difficilement détectables et de l'autre, de nouvelles techniques d'analyse est toujours d'actualité.

Parmi les nouveaux moyens de dopage (*Figure 6*), se trouve la transfusion sanguine : du sang de l'individu est extrait puis « amélioré » avant d'être réinjecté. Les modifications vont être difficiles à détecter, puisqu'elles ne mettent en jeu que des molécules naturellement présentes.

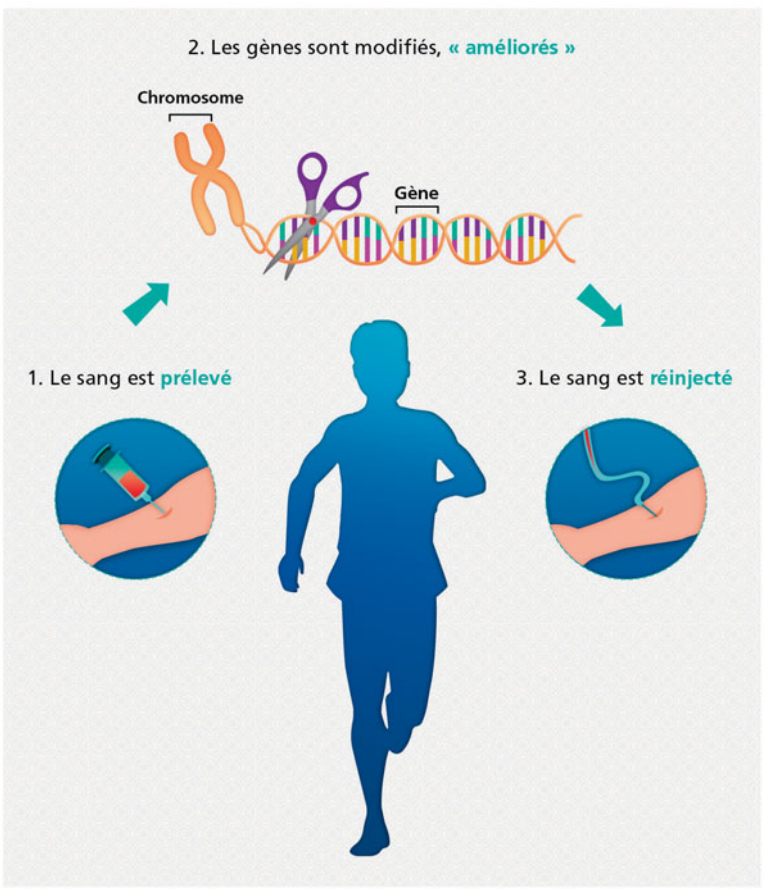


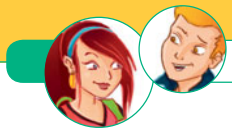
Figure 6

D'autres moyens modifient directement les propriétés des cellules du corps humain : en modifiant les gènes, on fait par exemple produire au corps une protéine qui améliore sa performance. Ces manipulations qui transforment l'individu donnent peut-être un avantage apparent sur une performance mais combien d'inconvénients ou de graves dangers pour la santé ultérieurement ?

Pour empêcher ces nouvelles méthodes de dopage, on envisage de suivre le sportif comme on suivrait un malade en convalescence – non pas à l'occasion d'une compétition, mais en continu tout au long de sa vie professionnelle. On pourra ainsi voir s'il a changé anormalement d'un examen au suivant, si ses réactions psychologiques ou ses capacités physiques se sont modifiées.
La lutte contre le dopage placerait le champion **« en liberté surveillée »** !

Conclusion

Quoiqu'il en soit, on voit bien que la base de la lutte contre le dopage est la volonté de tous ceux qui s'intéressent au sport – les sportifs amateurs ou professionnels, les responsables des organisations sportives dans tous les pays, leurs spectateurs… bref toute la communauté des citoyens du monde.



LES MATÉRIAUX DE LA PERFORMANCE

On peut s'entraîner très dur. On peut se forger un moral de vainqueur. Mais pour gagner, il faut aussi du super matériel. Si le sprinter jamaïcain Usain Bolt avait couru avec des sabots, il n'aurait pas été champion olympique. Si Rafael Nadal avait joué avec une raquette en bois, jamais il n'aurait gagné les tournois du grand Chelem en tennis. Heureusement pour eux, ils ont des chaussures et raquettes au top matériaux.

Comment sont fabriqués les accessoires de sport pour les champions, raquettes, vélos, perches… Pour atteindre la meilleure performance, ils seront efficaces et légers.

L'ennemi, le poids ?

Quand on veut rouler plus vite en vélo et monter rapidement les côtes. Quand on tape des balles pendant quatre heures avec une raquette sans se démolir le bras. Quand on doit sauter très haut en s'appuyant sur une perche…

Qu'est-ce qu'il faut ?

Un vélo solide et léger – une raquette costaud et légère – une perche flexible mais légère.

Pour fabriquer tous ces accessoires sportifs, on doit utiliser des matériaux solides comme des métaux ou du bois mais aussi des nouveaux composites fabriqués à partir de fibres (des fils) et des polymères (des colles et plastiques).

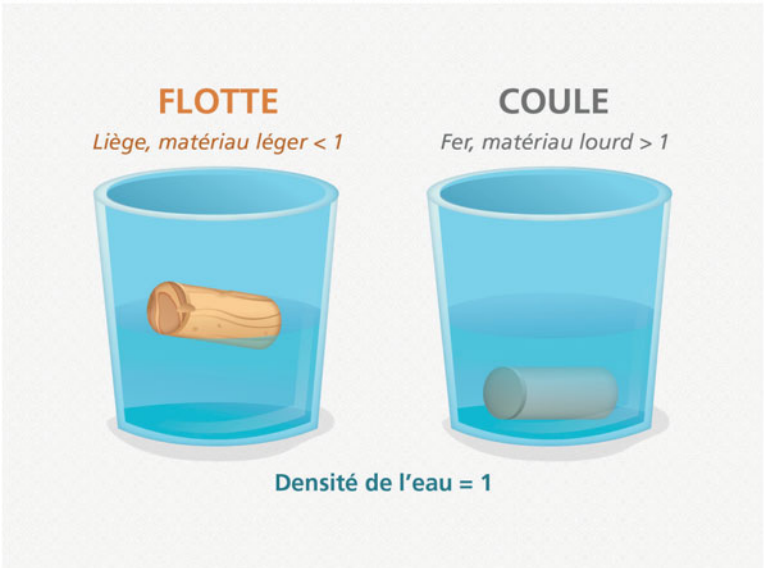


Figure 1

Pour voir facilement si un matériau est léger ou lourd, il suffit de le jeter dans l'eau et ça nous donne une échelle grossière mais comparative, s'il coule : il est lourd ; s'il flotte : il est léger (*Figure 1*).

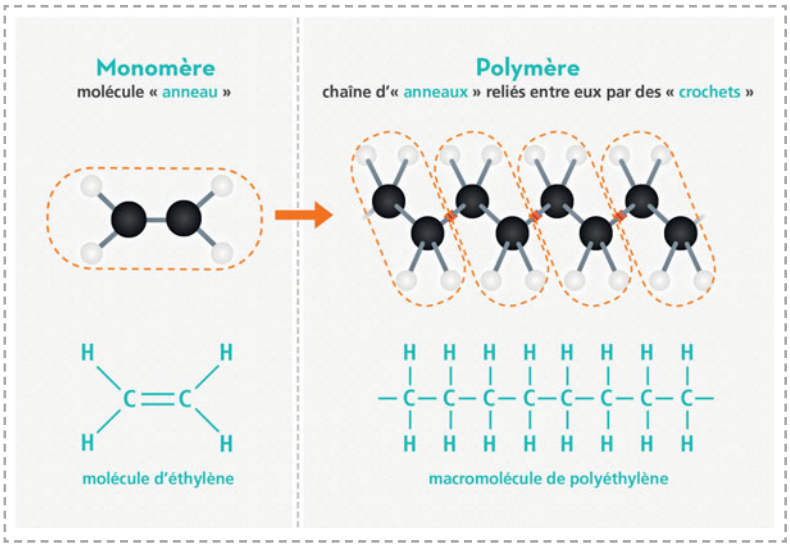
Plomb	Fer	Aluminium	Bois	Carbone	Liège
Très lourd	Lourd	Moyen	Moyen	Léger	Très léger
Coule	Coule	Coule	Surnage	Flotte	Flotte
Pata plouf	Plouf	Plouf	Flop	Flop	Flip

Par exemple pour faire le cadre d'un vélo, on pourrait coller ensemble des bouchons de liège, ce serait marrant mais ça casserait tout de suite car le liège n'est pas solide. On préfère le faire avec des tubes en acier (du fer) ou en aluminium qui est plus léger. Mieux encore, on peut prendre des tubes en fibres de carbone collées entre elles par un polymère et cela va nous donner un cadre hyper léger mais très résistant.

Les polymères

Les chimistes ont inventé des matériaux constitués de molécules carbonées dont certaines ont des minuscules crochets constitués d'atomes et d'autres de minuscules anneaux. Ces molécules peuvent donc s'accrocher, se lier entre elles et former des chaînes très longues (*Figure 2*).

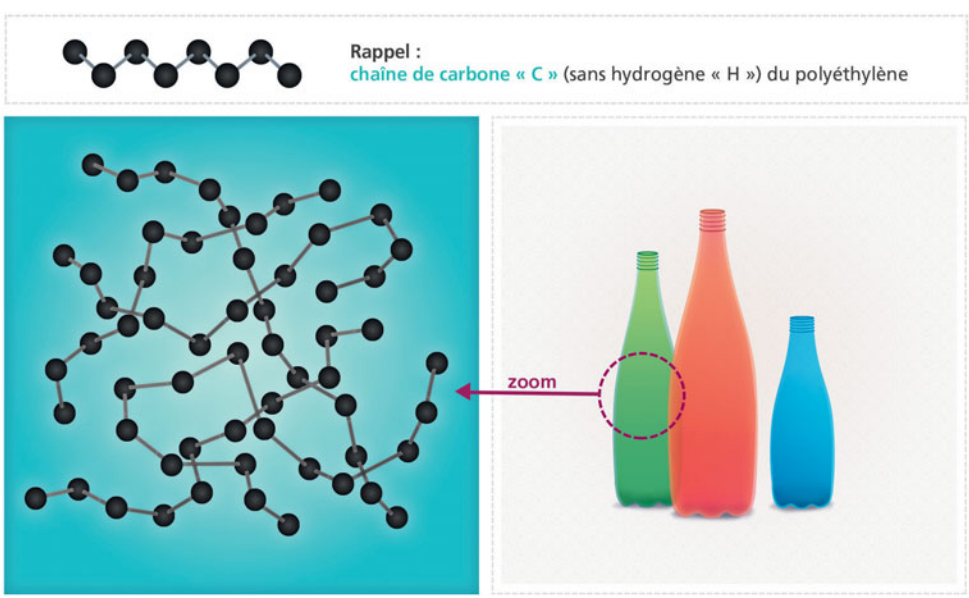
Figure 2



Il y a plusieurs types ou familles de polymères, le polyéthylène, le polystyrène, le kevlar… Tous relativement légers.

On peut aussi, le long de ces chaînes, ajouter sur les côtés des molécules qui se terminent aussi par des crochets et relier les chaînes entre elles. On forme alors un réseau qui ressemble à un « grillage » moléculaire (*Figure 3*), c'est le principe de formation des « matières plastiques ».

Figure 3



Réseau de plusieurs chaînes de carbone « C » reliées entre elles

Les matériaux composites

Les composites utilisés dans le sport doivent être bien plus légers et sont eux presque toujours constitués de fibres noyées au sein d'une matrice qui peut être un mélange de colle et de polymère.

Grâce à la chimie, les composites ont conquis aussi d'autres grands domaines tels que l'aéronautique, l'automobile, le bâtiment. Ils sont bien présents dans l'Airbus A450, la nouvelle BMW électrique et dans tous les bolides de F1.

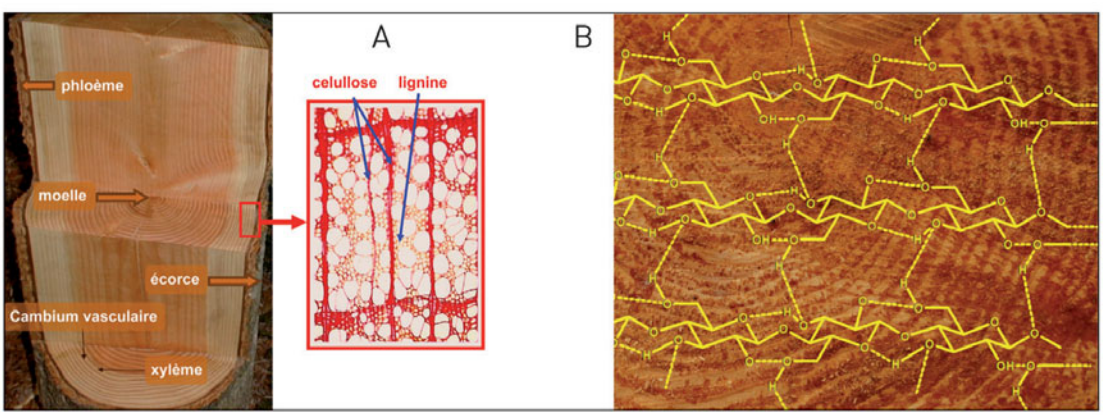
Un ***matérieau composite***. Comme son nom l'indique, un matériau composite est un matériau qui est composé de plusieurs éléments.

Le béton qui est un assemblage de cailloux et de sable liés par du ciment.

Remarque

Le plus ancien et le plus naturel des composites est le bois. Si on regarde de très près une coupe au microscope, on voit qu'il est constitué de fibres de cellulose qui est un polymère naturel dans une matrice de lignine. Cette structure s'étend au fur et à mesure que l'arbre croît au cours des années jusqu'à constituer les cercles concentriques caractéristiques de l'âge de l'arbre.

Figure 4



Le bois est le matériau composite le plus ancien à avoir été utilisé par l'homme (A) : il comporte des fibres de cellulose (polymère pouvant comporter une dizaine de milliers d'unités glucose : structure chimique en B) et de la lignite.

Qu'elles sont les qualités d'un composite artificiel et comment le fabriquer ?

1. Ne pas se déchirer. C'est la fibre qui est résistante et pas la colle, mais il ne faut pas que les fibres s'arrachent de la matrice lors d'un effort. En ajoutant des molécules (avec des petits crochets) à la surface de la fibre, la chimie renforce la cohérence du matériau.

2. Résister dans toutes les directions. Les fibres peuvent être toutes parallèles, mais alors on dispose d'un matériau bien résistant dans une direction mais faible suivant les autres. Pour être bon dans les trois directions, il faut tricoter les fibres, en faire des surfaces et ensuite les empiler (*Figure 5*).

3. Solidifier le matériau. Si par exemple on tisse du Kevlar pour en faire une plaque, c'est un tissu qui n'est pas rigide (*Figure 6*). Avant d'en empiler une autre, il faut placer en sandwich un matériau costaud en « nid d'abeilles » qui va rigidifier l'assemblage. On noie ensuite le montage avec une résine ou un polymère.

Figure 5 Des fibres de géométries variées : plaque stratifiée, unidirectionnelle ou non, tissée, tressée…

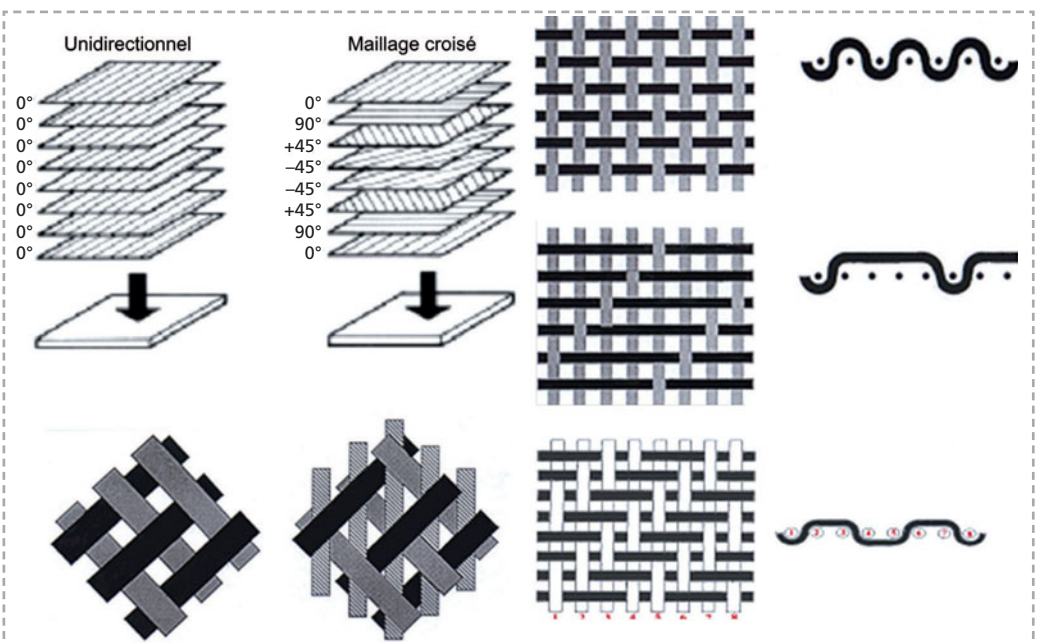
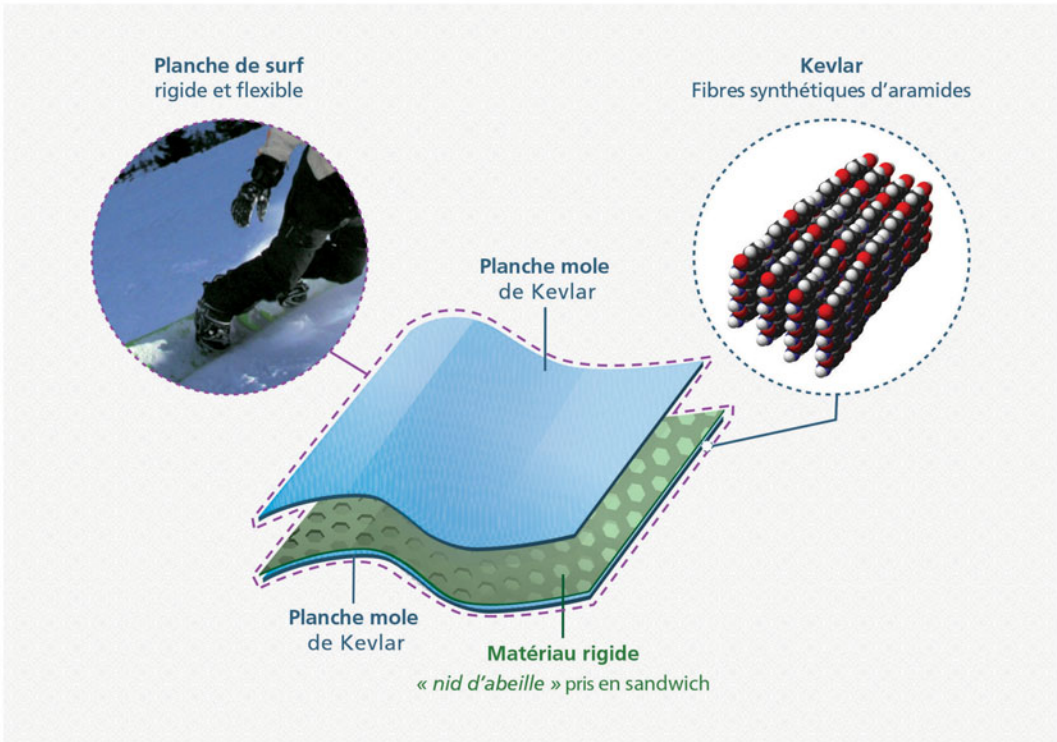


Figure 6



Pour les applications dans le sport, il faut que les matériaux puissent se déformer mais soient rigides et résistants. On les mesure avec deux caractéristiques mécaniques :

– la rigidité (en Giga pascal GPa), on appuie sur le matériau : 5 pour le polyester, 70 pour la fibre de verre dans une matrice d'aluminium, 200 pour l'acier et de 200 à 1 000 pour la fibre de carbone ;

– la résistance (en Méga pascal MPa), on tire sur le matériau, ou traction maximale supportée avant rupture : 450 pour l'aluminium, 1 200 pour l'acier, et de 4 000 à 5 000 pour la fibre de verre ou de carbone.

En fonction des efforts demandés, solidité ou souplesse, on va orienter les nappes de fibres, choisir le verre ou le carbone, la matrice en époxy ou en polymère, et après modélisation de la pièce, trouver en chimie le meilleur duo fibre-matrice pour l'application souhaitée.

La raquette de tennis

La raquette de tennis est constituée d'un cadre sur lequel sont tendues des cordes, souvent en nylon, avec une tension en kilogramme qui monte en fonction du classement du joueur ! Les grands champions comme Federer ou Nadal demandent des tensions fortes comprises entre 25 et 30 kg.

Pour la conception de la raquette, cette dernière ne doit pas vibrer lorsque l'on tape la balle, sans quoi le bras du tennisman soumis à des mouvements vibratoires de la raquette risque un « tennis elbow », inflammation osseuse du coude qui fait très mal. Pour cela, on modélise la raquette idéale via une image numérique sur ordinateur, en prenant en compte toutes les caractéristiques physiques (centre de gravité, poids…) qui vont s'appliquer au moment de l'impact entre la balle et le tamis. Viennent ensuite la fabrication du moule, le coulage du composite résine fibres et le montage du prototype.

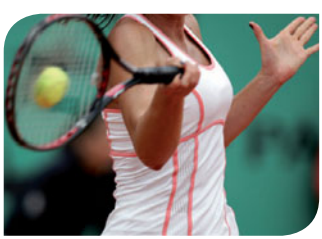


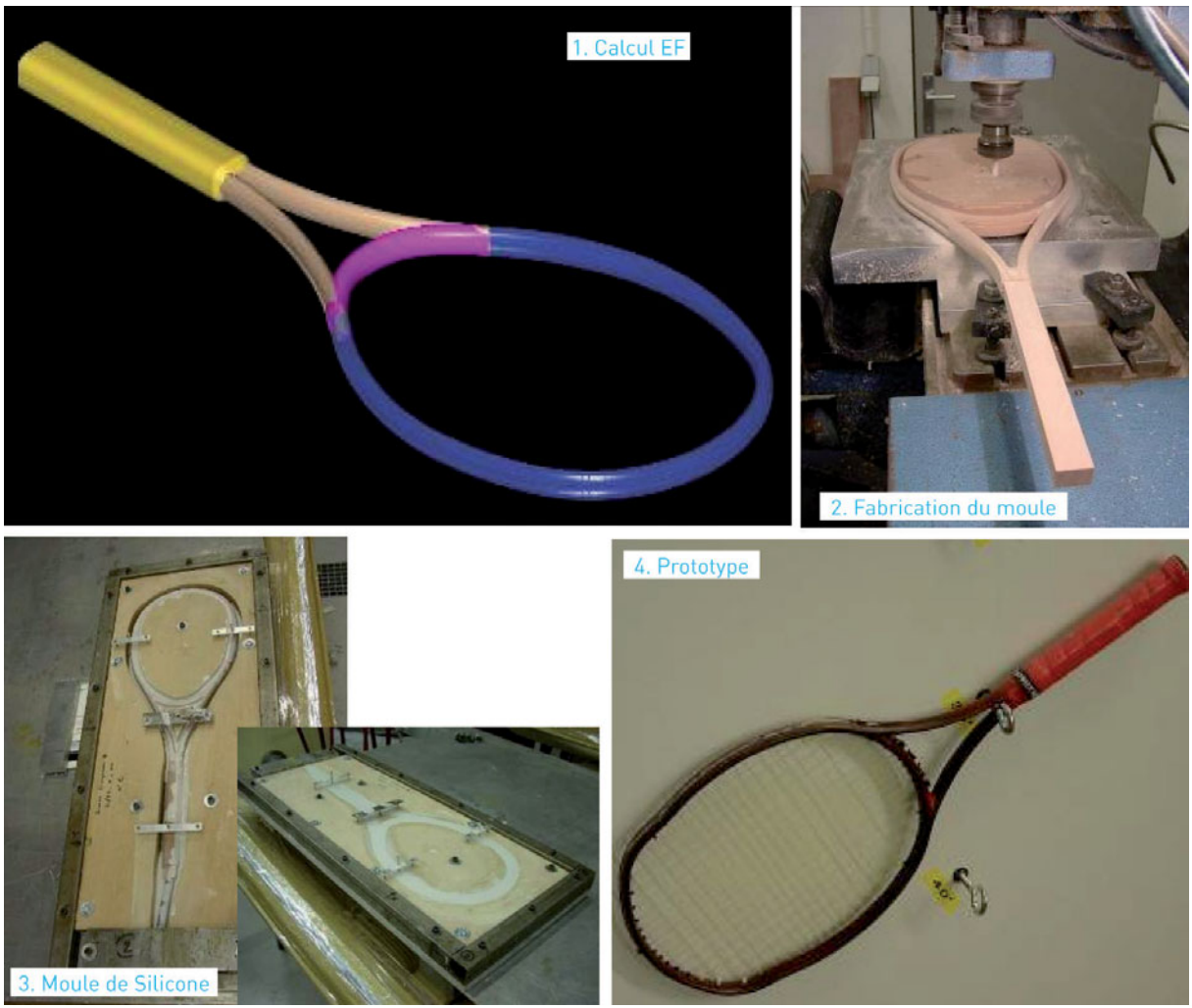
Figure 7

La raquette de tennis, un matériau composite qui associe des fibres et une colle.

Figure 8

Le centre de gravité et le poids de la raquette doivent être caractérisés avec précision.

Figure 9 1) Image numérique de la géométrie choisie, qui a permis les calculs de résistance, de rigidité, des modes de vibration etc. 2) Fabrication du moule. 3) Moule terminé. 4) Raquette terminée.



Le vélo

Pour le poids de la machine proprement dit, l'utilisation d'un vélo en carbone au lieu d'un vélo en acier permet un gain de quelques dizaines de secondes au kilomètre pour le cycliste ordinaire, un peu moins pour un pratiquant entraîné. Sur un parcours montagneux, alors le gain se chiffre en minutes !

Remarque

Hors de la réglementation, certains passionnés se lancent dans le record du vélo le plus léger du monde qui peut maintenant descendre en dessous de trois kilogrammes comme le « spin light bike » en titane et carbone.

Les coureurs du Tour de France vont de plus en plus vite, la vitesse moyenne des vainqueurs a été multipliée par deux en 100 ans (*Figure 10*) ! Christopher Froom, le maillot jaune 2012 sur un vélo très léger, aurait eu le temps de faire deux Tours de France pendant que le premier vainqueur, Maurice Garin, le bouclait en 1903.

L'Union cycliste Internationale (UCI), devant les progrès des composites carbone et de leur fabrication, a dû imposer une limite basse du poids des vélos pour les coureurs, 6,8 kilogrammes, afin qu'ils puissent courir sur un même pied d'égalité, tout en gardant une certaine sécurité.

Cet allègement du matériel a un but, celui du gain en vitesse pour aller toujours plus vite. Avant de penser au matériel, il faut aussi nous alléger nous-mêmes. Un moindre poids permet de diminuer sa surface corporelle et donc avoir un meilleur aérodynamisme.

En passant de l'acier à l'aluminium, le poids des vélos de course a diminué de 50 %. Puis de l'aluminium aux cadres en acier fin et aux composites carbones, le poids est descendu à sept kilogrammes. Les fabricants jouent maintenant sur les accessoires freins, dérailleur, changements de plateaux et de vitesses électriques.

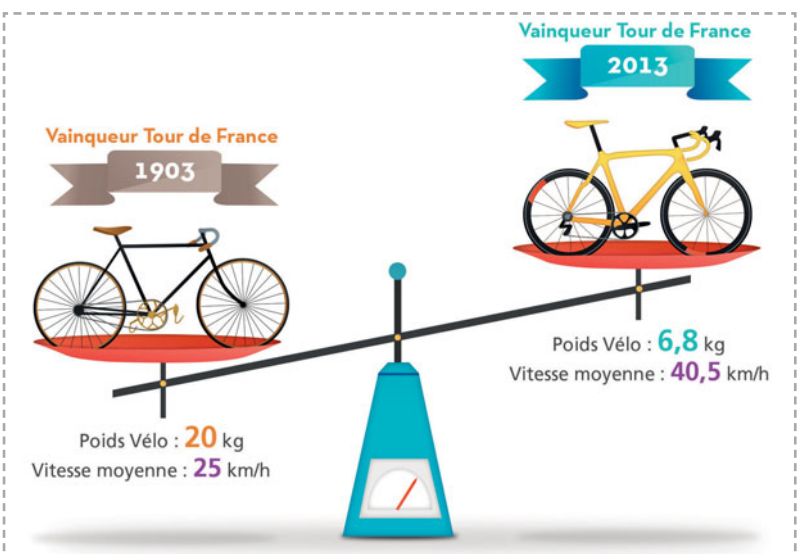


Figure 10

Les perches de saut

Pour sauter en hauteur, l'homme ou la femme arrivent à sauter plus haut que leur propre taille, mais les records plafonnent actuellement depuis celui du Cubain Javier Sotomayor en 1993 à 2,45 m ! Pour sauter plus haut, les chaussures à ressort étant interdites par le règlement, les gymnastes, dès le XVIIIe siècle, pour agrémenter les sauts, utilisaient des mâts ou des bâtons en bois qui est, comme on l'a vu, un composite naturel.

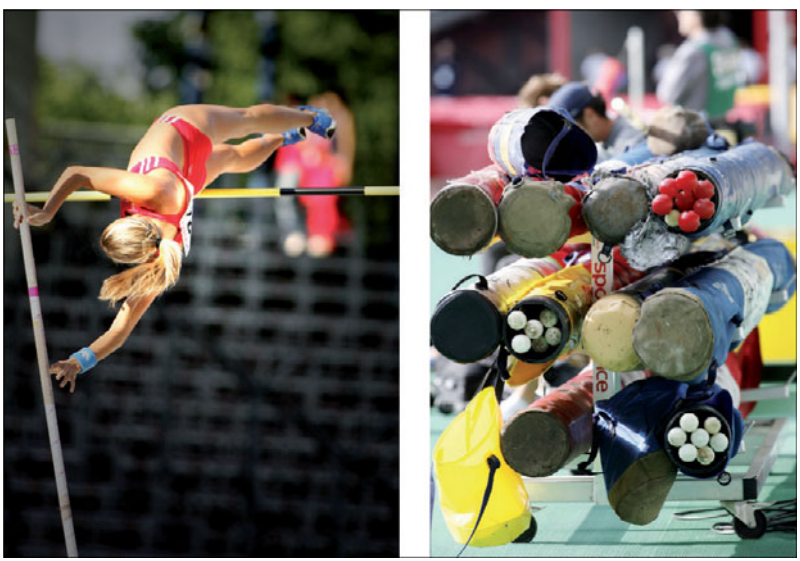


Figure 11

La perche du sauteur est faite d'un matériau composite très élaboré.

C'est après 1900 que le saut à la perche fit des progrès avec des perches en bambou. Le bambou qui est une plante exotique à croissance rapide possède une structure fibreuse périphérique avec des cupules internes qui renforcent sa solidité.

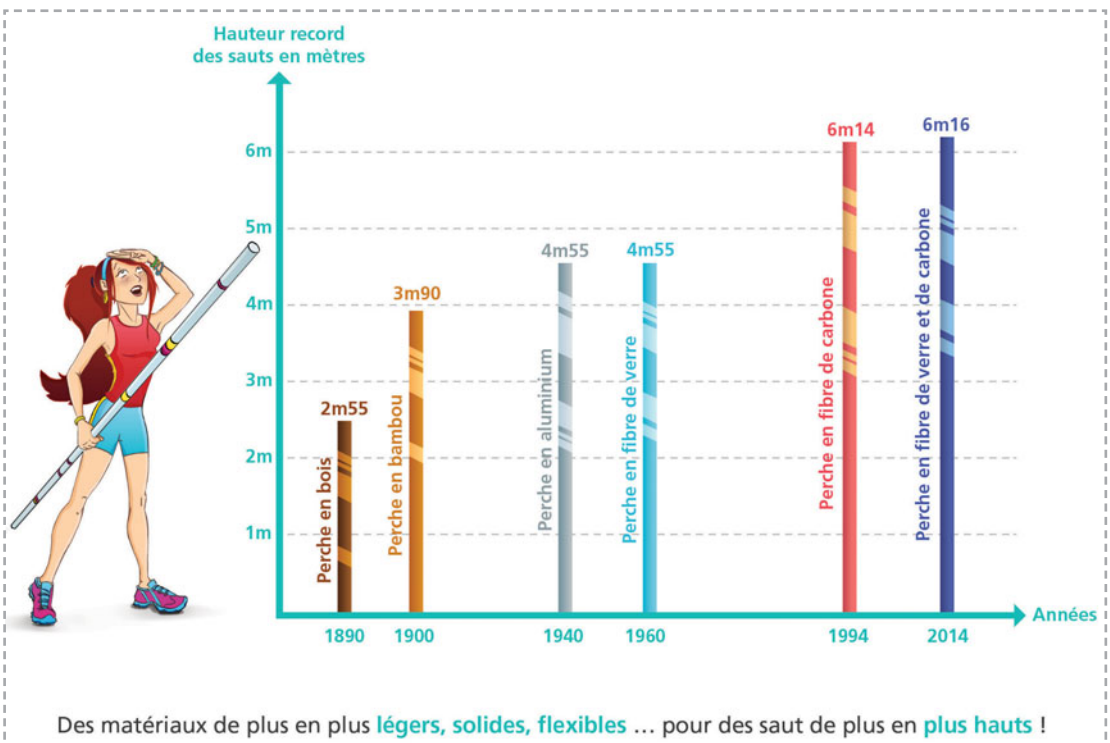
Plus flexible, la perche en bambou restitue l'énergie cinétique apportée par la course du sauteur. Les athlètes portent, en effet, la perche sur environ 50 mètres de course, la bloquent sur la butée du sautoir, la perche plie comme un arc (sans se rompre) et projette le sauteur en hauteur par un effet catapulte. La perche doit donc être légère, souple mais aussi solide et c'est là qu'intervient le matériau composite.

C'est après 1940 que sont apparues les perches métalliques d'abord en tube d'acier, vite abandonnées à cause de leur poids, elles furent remplacées par des perches en tube d'alliage aluminium-cuivre qui permirent de progresser.

Vers 1960, un nouveau saut technologique apporté par les composites fibres de verre-résine époxy fait encore monter les records.

Avec de nouvelles fibres en carbone et l'arrivée de polymères souples, la flexibilité et la solidité sont encore améliorées et le record dépasse maintenant six mètres avec les champions tels que l'Ukrainien, Sergui Bubka et le Français, Renaud Lavillenie (*Figure 12*).

Figure 12



Des matériaux de plus en plus **légers, solides, flexibles** ... pour des saut de plus en **plus hauts** !

La perche des champions

Elle fait cinq à six mètres de longueur et 30 millimètres de diamètre. Elle est fabriquée à partir de bandes de tissu de verre enroulées autour d'un axe qui comportent des fibres d'un verre riche en silice SiO_2 (54 %) avec de l'alumine (Al_2O_3) et de la chaux (CaO), fondu à 1 500 °C et filé très fin à haute température (*Figure 13*). Ces bandes sont assemblées avec un polymère de type époxy auquel on ajoute un durcisseur (le plus connu est l'araldite) qui colle et renforce l'assemblage. Les fibres de verre sont sollicitées par l'effort dans le sens de la longueur, elles sont plus solides que l'acier grâce aux fortes liaisons atomiques linéaires Si-O-Si-O – Si…

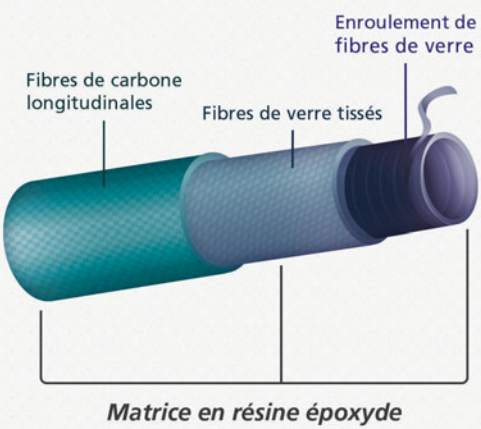


Figure 13

Conclusion

Pour les performances dans le sport, il faut s'entraîner, bien s'alimenter et suivre une conduite de vie saine. Mais il faut aussi des matériaux performants grâce à la chimie des matériaux composites

LES TEXTILES ET VÊTEMENTS POUR LE SPORT

Chaque sport a son vêtement.
Qu'est-ce que je mets maintenant pour mon jogging ? C'est une phrase classique !

C'est le mois d'août, il fait soleil, je prends un short et un tee-shirt, c'est en janvier et il pleut, je mets mon survêt et mon blouson imperméable avec capuche. Mon frère qui fait du football a besoin de chaussettes et de protège-tibias. Ma sœur qui s'entraîne pour le 50 mètres en bassin aimerait bien avoir un maillot de bain sur lequel l'eau parait super glisser comme celui de Laure Manaudou.

Avec les progrès de la chimie et du textile, on peut adapter les caractéristiques des vêtements à chaque usage.

Un vêtement de sport – pourquoi ?

À chaque sport et à chaque circonstance, un vêtement est adapté. Nadal à l'Open d'Australie avec 40 °C à l'ombre ne va pas passer trois heures sur le court en combinaison de ski ! Grange, en Russie, aux jeux olympiques d'hiver pour le slalom, ne va pas descendre en short blanc !

La combinaison de natation en élasthanne.

La performance – On va rechercher à aller plus vite, plus loin, plus longtemps et récupérer ses forces rapidement. Un vêtement élastique qui comprime certaines parties du corps augmente le flux sanguin

dans les muscles et améliore leur rendement. Un vêtement qui épouse la forme du corps sans aspérités facilite la pénétration dans l'air et améliore l'aérodynamisme.

Le confort – Quand on est bien dans ses vêtements, on a un double plaisir à faire du sport. Un textile qui respire bien permet de ne pas avoir trop chaud et de ne pas mijoter dans sa sueur. Inversement, dans le froid, il doit protéger le corps et même réguler sa température.

L'anorak en microfibres traitées respirantes.

La sécurité – Il y a toujours des risques dans un sport, les chutes, les chocs et aussi en escrime les coups d'épée. Le vêtement doit alors protéger sans se trouer ou se déchirer. Dans le sport automobile, il doit aussi protéger le pilote du feu.

La combinaison blanche d'Alonso en F1.

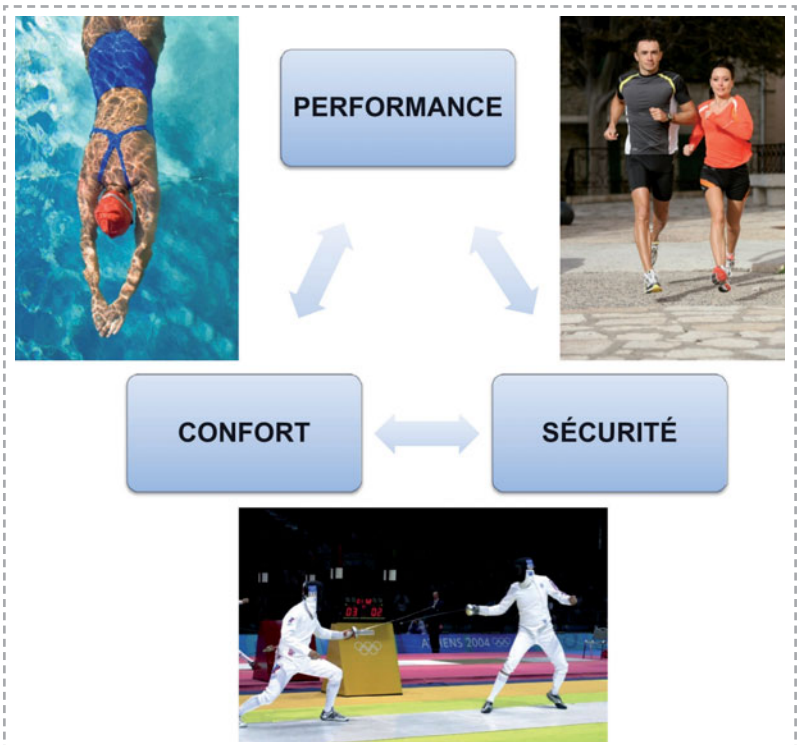


Figure 1

Performance, confort et sécurité sont les trois principales fonctions de l'habillement sportif.

Quelle chimie pour le textile ?

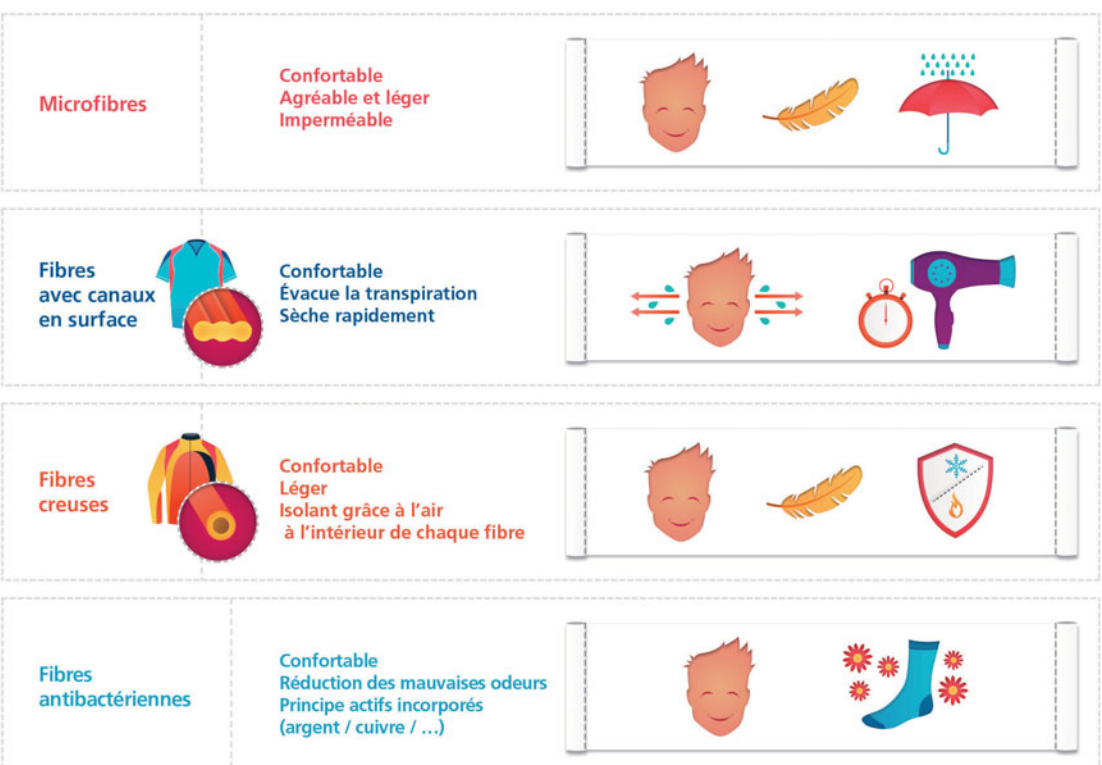
Pour répondre à toutes ces utilisations, la chimie et les fabricants de tissu ont innové d'un grand nombre de façons ; sur les fibres (les fils) et sur leurs constituants les polymères, sans oublier les modélistes qui dessinent des modèles « fun » et colorés.

Les fibres – on peut les classer en au moins quatre catégories (*Figure 2*) :

– les microfibres très fines, agréables à porter quasi imperméables. Les pulls polaires que l'on met en hiver ;

– les fibres avec canaux en surface, elles évitent le contact humide avec la peau. Les fibres en polyesters des vêtements coolmax ;

Figure 2



– les fibres creuses et légères, elles donnent une bonne isolation thermique. « Froid, moi ? Jamais j'ai mon Damart » ;

– les fibres antibactériennes avec des substances détruisant les bactéries et les mauvaises odeurs. Les microbilles d'argent accrochées sur les fibres des chaussettes.

Les polymères – Ce sont des molécules chimiques qui peuvent s'accrocher les unes aux autres pour former de longues chaînes et donner des matériaux qui peuvent être fondus et filés sur de grandes longueurs (*Figure 3*).

Figure 3

Polypropylène $[CH_2\text{-}CHCH_3]n$	Léger Séchage rapide car très hydrophobe		Tissu de mobilier de jardin
Polyéthylène HT $[CH_2\text{-}CH_2]n$	Anti-perforation Léger		Combinaison d'escrime
Aramides	Protection feu		Tenue pare-feu de pompier

– Le polypropylène, la fibre est légère et « hydrophobe » elle n'aime pas l'eau. C'était le maillot de Jallabert quand il prenait le vélo après deux kilomètres de nage dans un triathlon.

– Le polyéthylène résiste aux impacts de perforations comme le Kevlar, c'est un bouclier. Voir le gilet des épéistes de l'équipe de France lors de l'entraînement et des compétitions d'escrime.

– Les aramides, agréables à porter, protègent du feu (les combinaisons des pilotes de F1, mais aussi, certaines vestes de protection des pompiers de Paris).

De nouvelles structures pour de nouveaux effets

Des fils élastiques et les textiles strech pour la compression

Les fils élasthannes de la famille des polyuréthanes sont élastiques. Pour les travailler, on les entoure comme un saucisson avec d'autres fibres, et on les tisse pour obtenir un tissu qui possède une élasticité dans toutes les directions.

Comme vêtement, cela donne l'effet d'une seconde peau. Ils ont aussi, si on le veut, un effet de compression qui accélère la circulation sanguine et produit une meilleure oxygénation des cellules des muscles compressés, ce qui permet de prolonger l'effort, de réduire les vibrations musculaires et de se protéger des microlésions. On en fait des chaussettes, jambières et cuissards, notamment pour les coureurs cyclistes et pour le triathlon.

Les microfibres enduites, les textiles imper-respirants

Ce sont des tissus imper-respirants pour les vêtements de ski, de jogging, les chaussures et les tenues de pompiers.

Les microfibres peuvent être enduites (recouvertes) de membranes microporeuses hydrophobes (PTFE) qui repoussent l'eau, ou non poreuses hydrophiles (polyester) qui attirent l'eau. Les premières permettent le passage de la vapeur d'eau (qui vient de la peau) mais empêchent la pluie de pénétrer dans le tissu. Les secondes permettent le transfert de l'humidité vers l'extérieur.

La combinaison de triathlon

C'est une merveille d'innovation qui répond à la question : comment trouver un vêtement qui marche pour la natation, en cyclisme et aussi léger pour la course à pied ? On y répond avec une combinaison avec effet de seconde peau qui glisse dans l'eau, qui sèche très vite sur le vélo tout en étant aérodynamique et qui enfin respire bien lors de la course à pied (*Figure 4*).

Figure 4

Les tissus thermo-régulants

Avec une fibre creuse ou enduite, on lui accroche des micro capsules contenant une paraffine spéciale comme une cire qui va fondre à des températures comprises entre 22 et 37 °C. Comme tout changement de phase (solide/liquide), cela consomme ou libère de l'énergie. Lors d'un effort, le corps produit de la chaleur, la cire fond et absorbe la chaleur dégagée pour diminuer la température du corps. Après l'effort, à l'arrêt, la température diminue la cire se solidifie en libérant de la chaleur, on évite ainsi de prendre froid.

C'est le cas pour les vêtements originaux utilisés dans l'alpinisme en haute montagne où après des efforts importants se succèdent des pauses dans des atmosphères très froides.

Traitements de surface des tissus et l'effet de déperlance

Un tissu peut être imperméable mais c'est encore mieux si les gouttes d'eau ne tiennent pas et roulent comme des billes sur le tissu, sans l'imprégner, (voir les feuilles de nénuphar) c'est ce que l'on appelle l'effet de déperlance.

On peut enduire les fibres du tissu avec des molécules fluorées (comme les poêles TEFAL) mais elles ne tiennent pas au lavage. On préfère utiliser des silicones comme les polysiloxanes. Imprégnées à cœur, les fibres tissées donnent des tissus anti-taches mais aussi des tissus pour le sport qui gardent la propriété de déperlance bien plus longtemps.

C'est ainsi que nombre de combinaisons de ski ont un tissu advantex à l'extérieur recouvrant une membrane polyuréthane imper-respirant et à l'intérieur un textile doux pour le confort.

La combinaison de natation

En 2009, nombre de records en natation sont battus, le Français, Alain Bernard, établit le record du 100 m en nage libre en dessous de 47 secondes. Il est équipé d'une combinaison en polyuréthane recouvert de tissu comportant de l'elasthanne et enduit de silicones pour un effet déperlant.
Les nageurs et nageuses rivalisent de combinaisons miracles Arena, LZR Racer… jusqu'à ce que la Fédération internationale interdise l'usage de ces équipements en 2010. Les chercheurs ont montré que la flottabilité était augmentée de 5 %, de même que la traînée dans l'eau était diminuée (une meilleure glisse) et que la contention du corps permettait une meilleure oxygénation des muscles et diminuait les vibrations (*Figure 5*).

Figure 5 Les combinaisons de natation : de véritables peaux de requin !

Conclusion

La chimie a développé de nouvelles fibres qui servent à nous vêtir tous les jours : le nylon, le tergal… Mais elle a aussi développé des fibres sophistiquées et des revêtements de tissus pour les sportifs qui non seulement sont adaptés à chaque sport, mais les protègent, augmentent leur confort et améliorent leurs performances.

LES SKIS, UN ÉQUIPEMENT DE HAUTE TECHNOLOGIE

Les magnifiques images des Jeux Olympiques d'hiver de Sotchi 2014 montrent les performances que doivent réaliser les skis de saut et de course :

– la résistance à des courbures et à des chocs extraordinaires (*Figures 1 et 2*) ;

© d.r.

Figure 1

© d.r.

Figure 2

– la glisse sur neige ou sur glace (*Figures 3 et 4*).

Figure 3

© d.r.

© d.r.

Figure 4

Pour réussir de telles performances, tout est au plus haut niveau : l'athlète et le matériel.

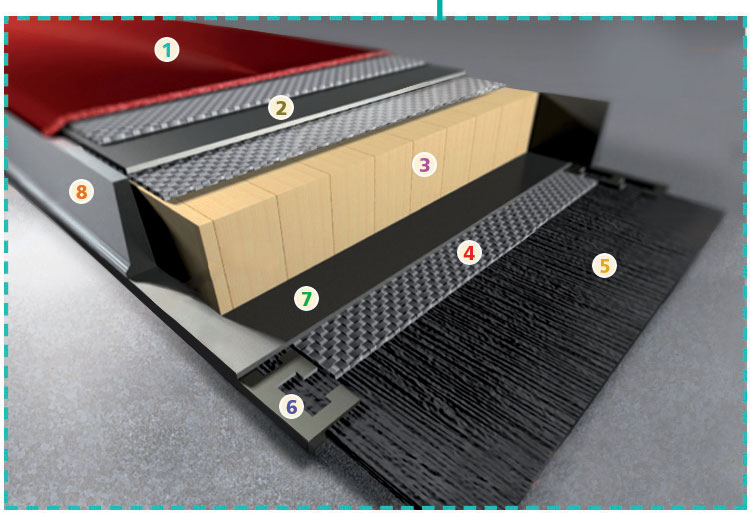
Les champions travaillent avec les fabricants de skis pour mettre au point le matériel le mieux adapté à l'exploit qu'ils veulent réaliser. Ces skis sont des objets de haute technologie qui contiennent plus d'une dizaine de composants élaborés par des ingénieurs et techniciens et notamment des chimistes.

Les supermatériaux des skis

Les principaux composants (*Figure 5*) d'un ski sont : les semelles, les carres, les renforts et les zones de transmission.

Les matériaux utilisés dans chacun de ces composants jouent un rôle important dans les performances des skieurs.

Figure 5



1 **Dessus :** ABS, TPU, polyamide
2 **Renfort :** Aluminium
3 **Noyau :** Bois lamellé-collé
4 **Renfort :** Verre/époxy
5 **Semelle :** Polyéthylène haute densité
6 **Carre :** Acier
7 **Renfort :** Aluminium
8 **Chant :** ABS

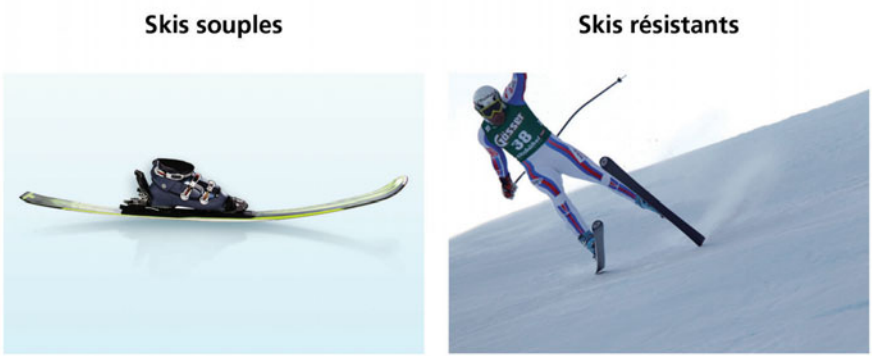
Remarque

Par ajouts d'additifs, on crée des ponts entre les chaînes et on augmente la rigidité. Plus il y a de ponts, plus le polymère est rigide.

Le Ski est une planche hétérogène, un matériau composite à lui tout seul. Comment faire pour que les skis plient et tombent de haut, sans casser ?

Les semelles doivent être souples, élastiques, résistantes à l'eau et au froid : le polyéthylène qui est aussi utilisé pour fabriquer le gazon synthétique des terrains de football convient bien, à condition d'améliorer ses propriétés par des additifs.

Figure 6



Pour plier et ne pas casser !

Remarque

Dans les skis de compétition, on ajoute un noyau en bois (lamellé-collé) constitué de couches successives où les fibres du bois sont orientées pour bien transmettre les forces dans les appuis.

Au-dessus de la semelle, on trouve successivement :

– une couche de « composite », mélange de fibre de verre et de résine époxy pour résister aux grandes déformations mécaniques que doit subir le ski ;

– des renforts pour amortir les vibrations (*Figure 7*) ;

Ces renforts en alliage d'aluminium peuvent être remplacés par des composites, des fibres de carbone en transversal qui permettent une grande réactivité et une meilleure négociation des virages. (*Figure 7*).

Figure 7

– la couche supérieure de décoration joue un rôle de protection (coups, rayures, rayons du soleil). Elle est souvent constituée de deux ou trois couches de molécules polymères : un polymère appelé ABS (acrylonitrile, butadiène, styrène) qui résulte de l'accrochage de toutes ces molécules entre elles, une couche de polyuréthane et une couche de polyamide ;

– les parois verticales sont les zones de transmission appelées « chant » et sont en ABS.

Toutes ces parties sont collées avec une résine époxy de la famille connue dans le commerce sous le nom d'Araldite (*Figure 8*) dans laquelle on ajoute :

– **un durcisseur** et **un accélérateur** pour que les grosses molécules qui constituent l'Araldite s'accrochent rapidement les unes aux autres en chauffant ;

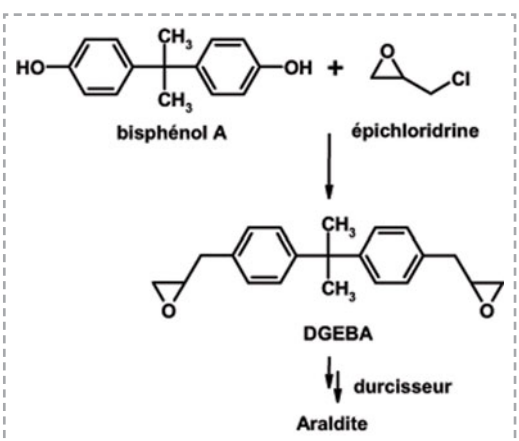
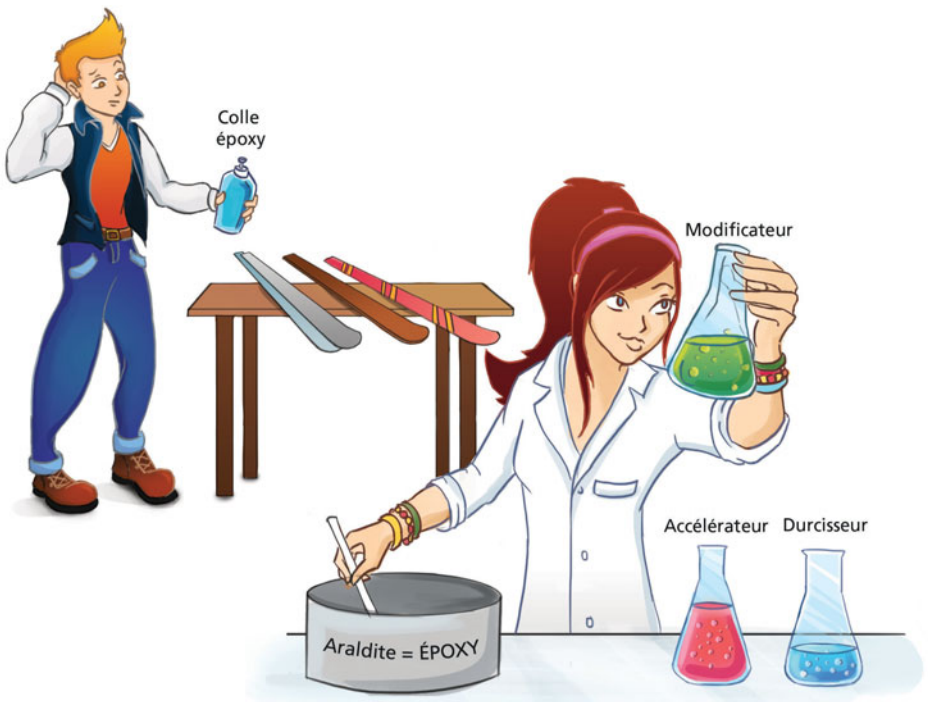


Figure 8

– **un modificateur** qui permet aux molécules de l'Araldite de bien s'accrocher aussi à d'autres molécules telles que les molécules de polyéthylène de la semelle, les fibres de verre, les fibres de carbone et les métaux des renforts (*Figure 9*).

Figure 9



Quelles sont les caractéristiques de la résine époxy ?

Outre de coller tout, son volume reste le même après durcissement, ce qui est très important pour les skis dont les dimensions et les lignes sont réglées au dixième de millimètre. En plus, elle est élastique et ne casse pas une fois durcie.

Coller grâce à la chimie

La résine époxy non seulement colle les différents composants du ski entre eux, mais elle imprègne et permet d'orienter (stratifie) les fibres de verre (ou de carbone) qui constituent la couche composite verre-époxy (*Figure 10*).

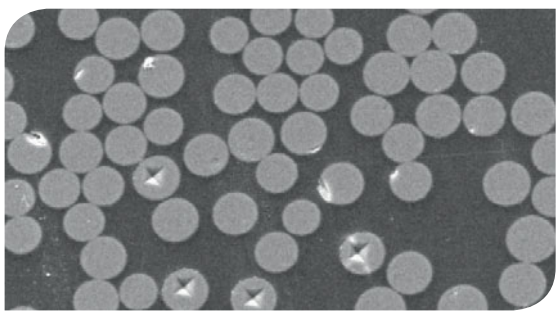


Figure 10

Comment faire pour que tout colle bien ?

Il faut créer des liaisons chimiques solides entre la fibre et la résine, qui résistent aux chocs, à des températures pouvant aller de 0 à -30 °C :
– en ajoutant des additifs comme la résine ;
– en greffant sur la surface des fibres de verre, des molécules agents de pontage qui formeront des liaisons chimiques avec ces additifs (*Figure 11*).

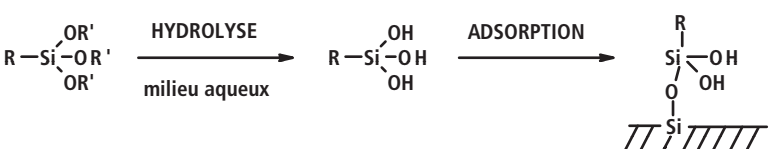
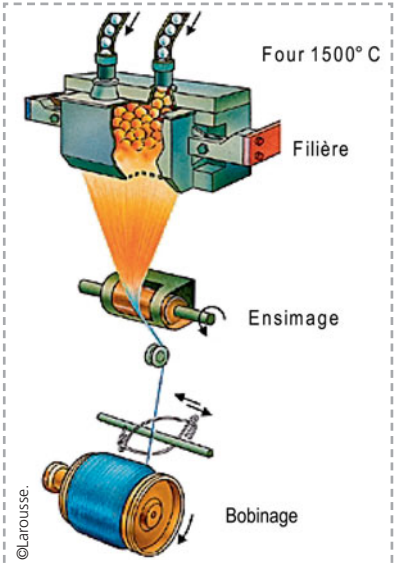


Figure 11

Figure 12

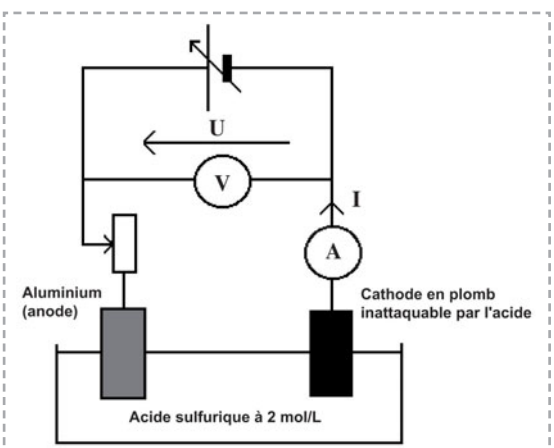


Ces agents de pontage sont greffés lors d'une opération appelée ensimage réalisée lors de l'élaboration de la fibre de verre (*Figure 12*).

Comment mieux coller les couches métalliques ?

En créant, par exemple dans le cas de l'aluminium (métal largement utilisé dans les skis), par oxydation électrochimique de la surface (*Figure 13*), une couche poreuse de 1/10e de millimètre d'oxyde d'aluminium (Al_2O_3) de structure hexagonale comme un nid d'abeille qui va mieux accrocher la colle.

Figure 13



Comment coller la semelle de polyéthylène ?

En l'exposant d'abord à une flamme oxydante, appelée opération de flammage, qui va introduire des fonctions chimiques dans les molécules de surface du polymère qui réagiront avec des fonctions chimiques de la résine époxy, ou d'autres adhésifs si nécessaire.

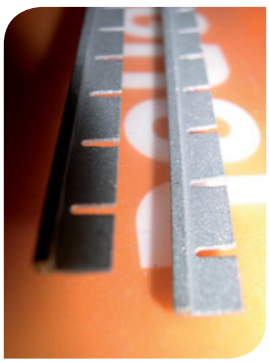


Figure 14

Il est difficile de coller le polyéthylène avec les carres en acier. Pour faciliter ce collage, on fait subir aux carres un traitement de surface qui va augmenter la rugosité par une opération non chimique qui est le sablage (*Figure 14*).

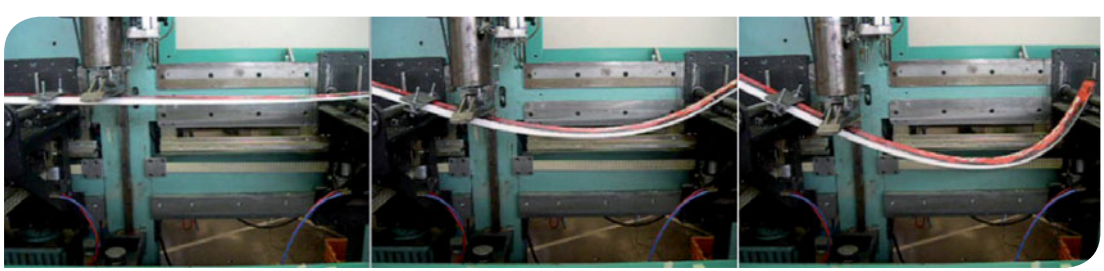
Test de qualité

Les tests de résistance de chaque type de matériaux sont réalisés en laboratoire.

Il faut aussi tester la casse et le délaminage dans les conditions aux limites où les skis doivent supporter des déformations très importantes (saut, chutes…).

Ces conditions sont reproduites dans le test de la *figure 15*. On peut atteindre, pour des skis de compétition, des flèches de 120 mm sans que le ski ne casse.

Figure 15



© Skis Rossignol

Et la glisse dans tout cela !

Figure 16

Une paire de ski alpin glisse à des vitesses de 20 à 40 mètres par seconde.

En fait, le ski ne glisse pas sur la neige mais sur un film d'eau qui se crée entre la semelle et la neige.

La glisse est un phénomène très compliqué qui dépend de la qualité de la neige, de la nature du terrain, des qualités du skieur, de son équipement, son poids, sa position etc.

Pour améliorer la glisse, les physiciens et les chimistes doivent prendre en compte tous ces facteurs, ce qui rend leur travail très complexe.

Faciliter la glisse

Les semelles sont en polyéthylène d'une variété que l'on appelle haute densité obtenue par frittage de poudre : les poudres de polyéthylène sont compressées en élevant la température puis refroidies.

Le frottement, qui limite la glisse, est minimum pour une certaine épaisseur du film d'eau entre la semelle et la neige (*Figure 17*).

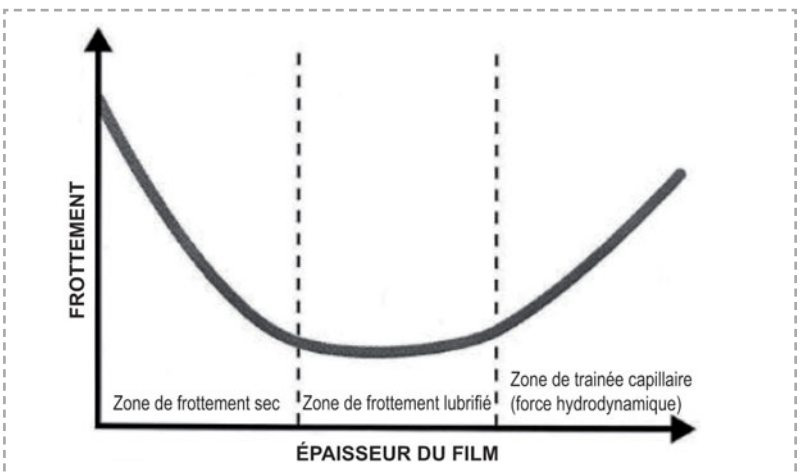


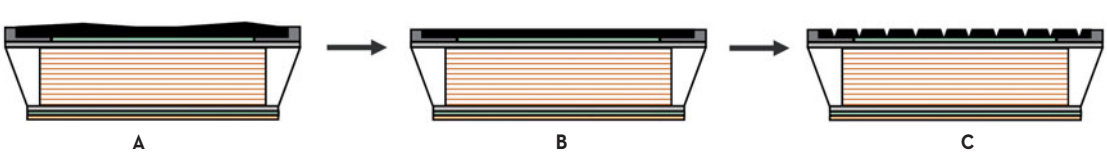
Figure 17

Quand un ski sort de l'atelier de fabrication après ponçage et polissage, la semelle est parfaitement plane (*Figure 18B*).

Mais dans ce cas, sur la neige, on se retrouve dans la partie droite de la courbe de frottement de la *figure 17* en situation d'aquaplaning, avec un film d'eau accumulé sous la surface du ski et l'apparition d'un phénomène de succion qui empêche la glisse.

Pour éviter cela et se retrouver dans la zone de frottement minimum, on structure la semelle, de la même façon que l'on structure les pneus d'une voiture, pour générer des microrugosités orientées dans le sens de la glisse (*Figure 18C*) afin d'évacuer le film d'eau lors du déplacement du skieur.

Figure 18



Remarque

Les motifs de structuration dépendent des différents types de neige, c'est pourquoi les champions disposent de plusieurs types de skis pour les différentes conditions de neige.

La glisse et le traitement de surface des semelles

Le polyéthylène utilisé pour les semelles de ski est un matériau qui n'aime pas l'eau (on dit qu'il est hydrophobe). Cette propriété diminue les forces de liaison à l'interface eau-semelle, ce qui favorise la glisse.

La structuration des semelles qui permet de mieux évacuer l'eau augmente encore cet effet mais cela n'est cependant pas suffisant, il faut éliminer les liaisons semelles-eau quel que soit le type de neige, et même lorsque l'ont dit que la neige est « collante » quand il fait un peu chaud. Pour cela on enduit la semelle de fart (*Figure 19*).

Figure 19

Un ***hydrocarbure*** est une molécule qui ne contient que des atomes de carbone et d'hydrogène. De même, un fluorocarbure est une molécule qui ne contient que des atomes de carbone et de fluor.

Les farts sont fabriqués par les chimistes. Ce sont des produits à base de « paraffines », c'est-à-dire un mélange de grosses molécules d'hydrocarbures et de quelques fluorocarbures, car le fluor repousse l'eau.

Comment bien choisir son fart

Les tests de mouillabilité des semelles fartées réalisés dans les laboratoires des fabricants ne sont pas suffisants pour choisir le meilleur fart, car la glisse dépend de beaucoup trop de choses à la fois.

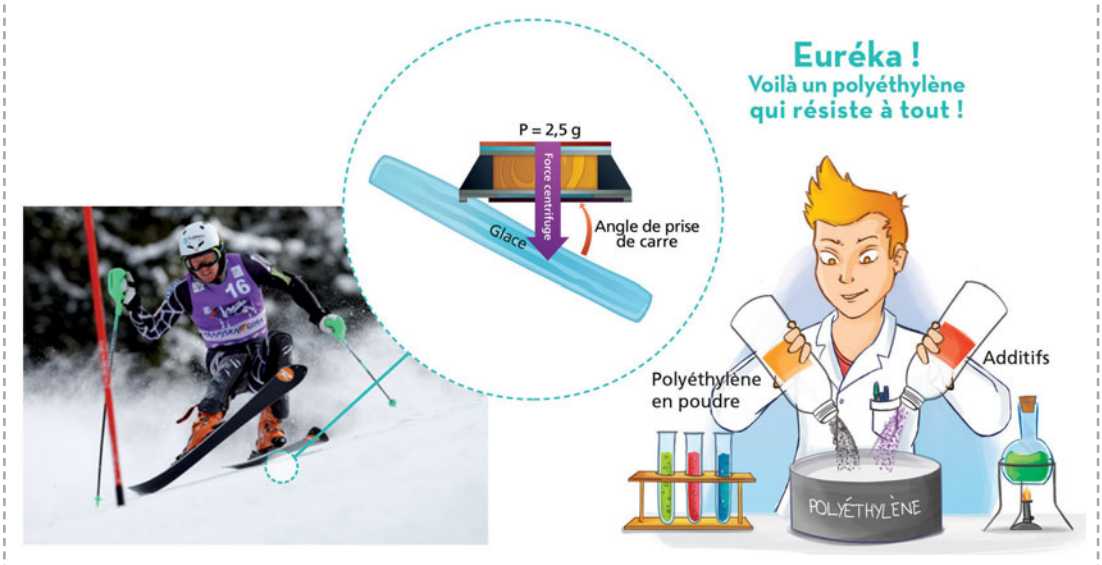
Les qualités des farts sont testées sur le terrain, dans des conditions très précises par des skieurs (souvent d'anciens champions) en combinaison de compétition normalisée qui doivent adopter la même position pour l'ensemble des produits testés. Ils suivent des plans d'expérience très précis pour identifier les meilleurs farts et plus généralement, les meilleures paires de ski à fournir aux athlètes.

Skier sur une patinoire ?

Dans les compétitions de descente, la neige est glacée après injection d'eau et les skieurs évoluent sur un mélange de neige et de glace, donc sur une patinoire inclinée.

Pour un athlète de 100 kg, c'est une pression de 250 kg qui sera directement appliquée sur le ski, c'est-à-dire sur une surface extrêmement réduite qui repose sur la neige (entourée en bleu sur la *figure 20*).

Figure 20



Sans être un champion de descente, il faut souvent passer sur des plaques de neige verglacée, et dans ce cas, les semelles doivent résister à l'abrasion (formation de peluches et même destruction) par la glace.

La *figure 20* montre la prise de carre du ski lorsque le coureur prend un virage à une vitesse de l'ordre de 100 km/h. Avec la force centrifuge (la force qui chasse vers l'extérieure du virage), le poids du skieur peut être multiplié par 2,5.

Les carres résistent car ils sont en acier, mais les quelques millimètres de semelles ne résisteraient pas si des matériaux spéciaux à base de polyéthylène avec des additifs et des fabrications spéciales n'avaient pas été mis au point par les chimistes en collaboration avec les fabricants de ski.

Conclusion

La chimie est partout présente dans un ski. Les molécules qui interviennent dans sa fabrication sont nombreuses et variées. L'évolution importante des skis et des planches de glisse est fortement liée à la chimie et à la physico-chimie. La recherche permanente de la meilleure performance pose toujours de nouveaux défis aux chimistes qui pourront, encore longtemps, travailler avec les fabricants d'équipements sportifs pour que plaisir, sécurité et performance restent associés.

CHIMIE ET VOITURES DE FORMULE 1

La Formule 1 offre un spectacle qui fascine le public tant par la vitesse que par la technique qui y est liée.

Qui, en voyant ces bolides, pourrait penser aux frottements et à la chimie qui permet de les diminuer voire même de les éliminer ? Comment ?

Grâce, aujourd'hui, aux lubrifiants et aux nouveaux matériaux utilisés pour les revêtements du moteur.

Nous allons voir dans ce chapitre quels sont ces nouveaux matériaux et les conséquences sur la durée de vie du moteur, sur ses performances et les retombées sur notre environnement.

Figure 1

Les frottements

Les frottements sont parfois bien utiles : se frotter les mains pour se chauffer par grand froid, allumer le feu en pleine brousse, freiner à vélo ou en voiture, polir une surface…

Cependant, ils peuvent avoir des conséquences fâcheuses (*Figure 2*) : une ampoule aux pieds dans des chaussures trop serrées, l'usure des matériaux, la perte d'énergie…

Les frottements interviennent dans la grande majorité des phénomènes physiques de la vie courante : il y a frottement chaque fois que quelque chose (une force de frottement) s'oppose au mouvement relatif de deux corps en contact l'un avec l'autre.

Le moteur d'une voiture

Le moteur comporte deux parties (*Figure 3*) : la partie haute qui sert à la distribution et la partie basse (où se produit l'explosion) dans laquelle les pistons et les vilebrequins assurent la transmission de l'énergie libérée par l'explosion vers la boîte de vitesse.

Figure 2

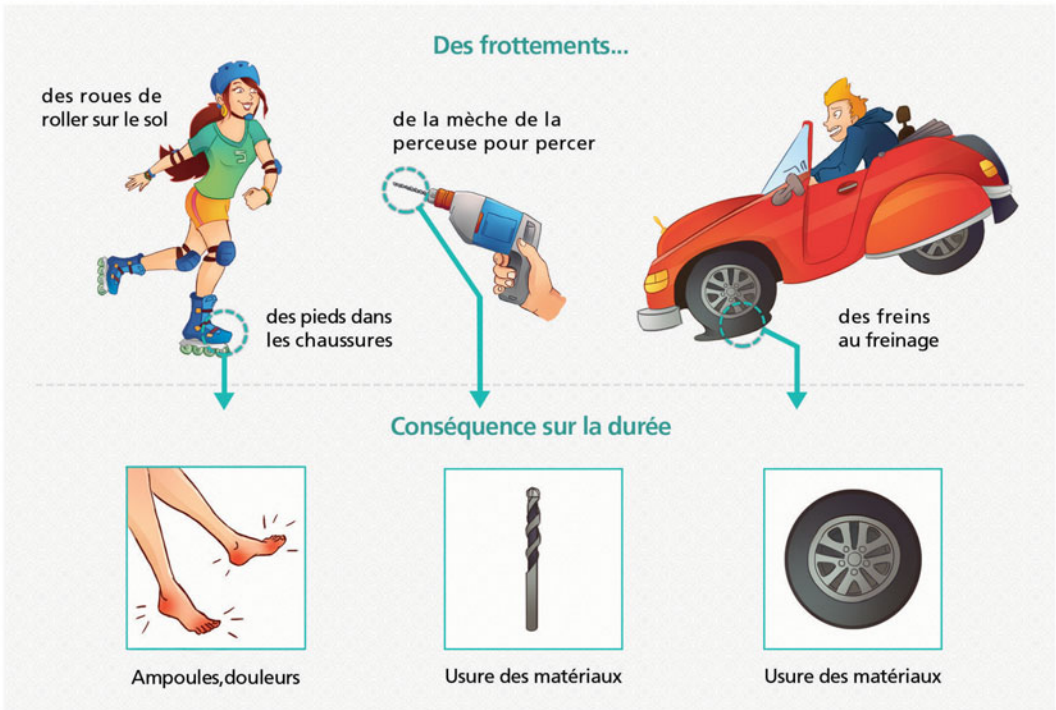
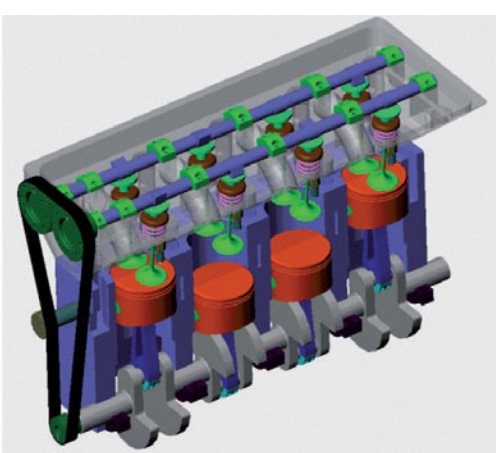


Figure 3

Partie haute



Partie basse

La partie haute commande l'ouverture et la fermeture des soupapes par l'intermédiaire de « l'arbre à came » (*Figure 4*). Les cames viennent frotter sur des pièces intermédiaires et ces frottements absorbent une partie de la puissance du moteur.

Dans la partie basse, les frottements peuvent être très importants sur les pistons et les vilebrequins et diminuer, là aussi, l'énergie transmise par le moteur.

Figure 4

Dans ces deux parties, il est donc important de supprimer le plus possible les frottements afin que le moteur conserve toute sa puissance.

La chimie pour éliminer les frottements

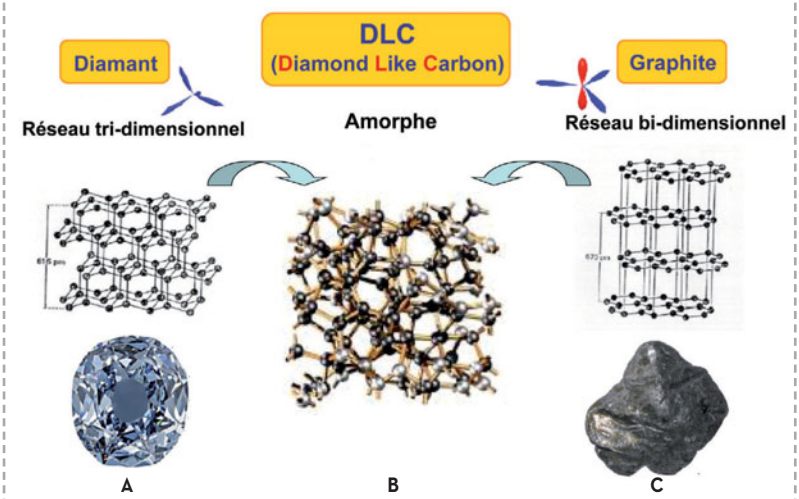
Dans les deux cas, le matériau utilisé est un édifice d'atomes de carbone. Dans cet édifice, appelé pseudo diamant, Il faut combiner la grande dureté du diamant avec les qualités de glissement du graphite que l'on utilise dans les mines de crayon.

Pour éliminer les frottements entre deux pièces métalliques, il faut recouvrir ces dernières soit d'un lubrifiant (solution classique) soit d'un matériau qui leur permet de glisser facilement l'une sur l'autre.

Le pseudo diamant

Le diamant est très dur parce que tous les atomes de carbone sont solidement liés les uns aux autres dans toutes les directions de l'espace (*Figure 5A*).
Le graphite est constitué de couches d'atomes de carbone qui peuvent glisser les unes sur les autres facilement (*Figure 5C*), ce qui permet de diminuer les frottements.
Le pseudo diamant (appelé également DLC Diamon like carbon) est obtenu par dépôt d'atomes de carbone issus de la vaporisation de pétrole ou de charbon. On obtient dans ce cas un mélange des deux structures et donc un mélange de leurs propriétés.

Figure 5

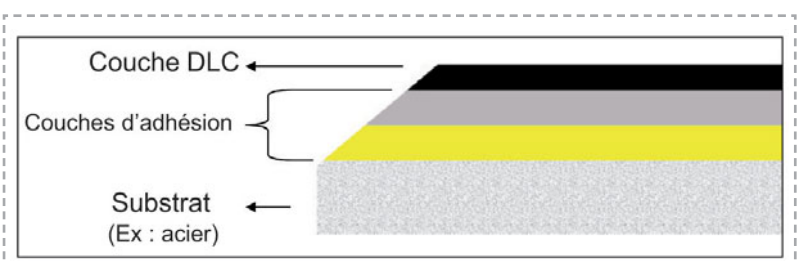


Ce nouveau matériau est déposé et recouvre, comme une couche de peinture, l'ensemble des pièces métalliques hautes et basses du moteur qui peuvent frotter les unes sur les autres.

Toute la difficulté réside alors dans le fait que les différentes pièces métalliques ainsi traitées doivent être bien lisses, ce que la technologie d'aujourd'hui permet de réaliser et de vérifier.

En effet, la partie à recouvrir par le pseudo diamant, appelée substrat, doit être soigneusement préparée en termes de propreté et de rugosité, les creux et les bosses de la surface devant rester inferieurs à l'épaisseur du revêtement. Ce n'est pas simple car l'épaisseur du substrat n'est que de un à deux microns ; autrement dit un millionième de mètre.

Figure 6



Un revêtement est une superposition d'une ou plusieurs couches sur un substrat (par exemple la peinture d'une carrosserie de voiture).

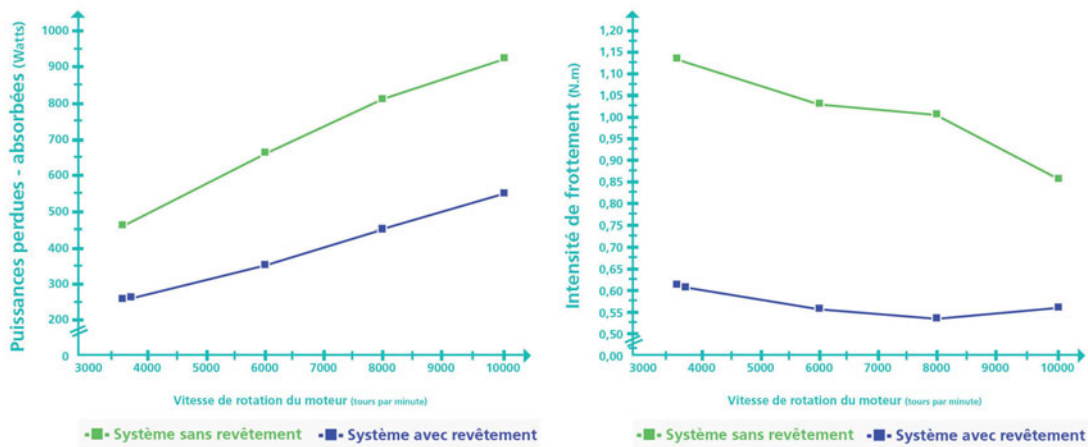
Test de réussite

Le pseudo diamant ou DLC a été testé en laboratoire et les résultats montrent clairement son succès.

Il a d'une part une dureté dix fois supérieure à celle du bronze, trois à quatre fois supérieure à celle de l'acier, légèrement supérieure à celle de la céramique et seulement trois fois plus faible que celle du diamant sachant qu'en contre partie le coefficient de frottement a été amélioré de presque dix fois.

Une illustration est apportée par la *figure 8* graphique de droite.

Figure 8



Conclusion : **Pour la même vitesse de rotation du moteur, les frottements diminuent de près de 40 %… donc pour la même puissance, moins de perte d'énergie et de consommation de carburant, moins de pollution, moins d'usure des pièces…**

Tout le monde peut-il bénéficier de ces progrès réalisés pour les voitures de la Formule 1 ?

Ce qui est une réalité pour la Formule 1 après des dizaines d'années de recherche est aujourd'hui en phase de pouvoir être efficacement utilisé pour tous.

De la Formule 1 à la voiture grande série

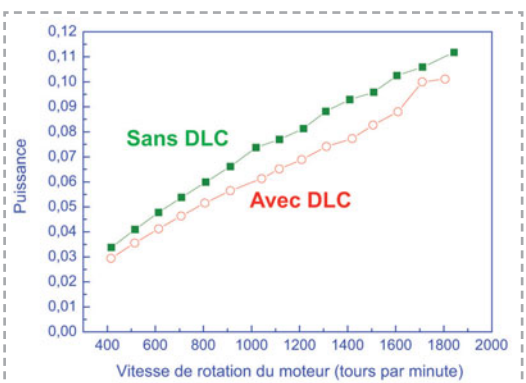


Figure 9

Il faut vérifier si ce qui diminue les frottements lorsque le moteur tourne à 20 000 tours minute est encore vrai pour les moteurs de série qui eux tournent à 1 500 voir 3 000 tours minute.

La *figure 9* montre que la puissance absorbée par les frottements des poussoirs (des vilebrequins) diminue quand ils sont recouverts par du DLC même dans les voitures de série. Ce n'est pas si spectaculaire que pour les moteurs de F1, mais il faut poursuivre les essais en particulier à température plus élevée, là où les lubrifiants actuellement utilisés perdent leur efficacité.

Conclusion

Ainsi l'utilisation du DLC pour recouvrir les pièces des moteurs permettra sans doute, dans quelques années, d'économiser du carburant si précieux aujourd'hui, et donc de polluer moins l'atmosphère pour une même distance parcourue.
Cela devrait permettre également de diminuer la pollution sonore en ville et de prolonger la durée de vie de son véhicule tout en l'entretenant moins souvent.
La chimie encore une fois aura joué son rôle dans le développement durable de notre planète.

LA CHIMIE ET LE SPORT AUTOUR DU MONDE

Figure 1

En 2012, pour les jeux olympiques d'été, quatre couples d'étudiants chimistes et journalistes, sont partis caméra au poing, autour du monde (*Figure 1*), découvrir des sources d'innovation dans le monde du sport.

Leurs vidéos (accessibles sur le site Internet http://actions.maisondelachimie.com/world_tour_2012html) montrent qu'ils n'imaginaient pas découvrir des métiers de la chimie aussi proches de leur passion pour le sport.

Leurs aventures confirment que la chimie et le sport ont besoin l'un de l'autre :

– le sport a besoin de la chimie pour améliorer la qualité de ses équipements et les performances de ses champions ;

– la chimie a besoin du sport pour lui poser des défis dont la résolution lui permet de créer de nouveaux produits et de nouveaux emplois passionnants.

De la graine de ricin aux chaussures de course

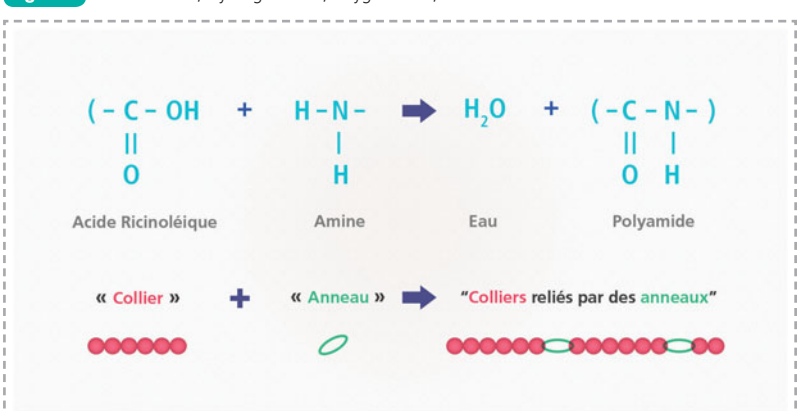
Destination Japon : Nora (DUT de chimie) et Loïc (étudiant journaliste).

La plus grande partie de l'huile de ricin (90 %) est constituée de molécules d'acide ricinoléique (*Figure 2*).

De l'huile de ricin au rilsan

Les **chercheurs** ont montré que les groupes OH rouges (d'atomes d'oxygène et d'hydrogène) de la *figure 2*, appelés groupements hydroxyles, réagissent avec les atomes H d'hydrogène d'une fonction amine pour accrocher entre elles les molécules d'acide ricinoléique et former de longues molécules polymères comme des colliers accrochés par des anneaux .

Figure 2 Carbone : C ; Hydrogène : H ; Oxygène : O ; Azote : N.



L'huile de ricin, extraite de la graine de ricin est connue, depuis la plus haute Antiquité, pour ses propriétés lubrifiantes dans des domaines très variés : assouplir les cheveux ou graisser les moteurs !

Pourquoi cette molécule est-elle si importante ? Comment passe-t-on de la graine de ricin à la chaussure de sport ?

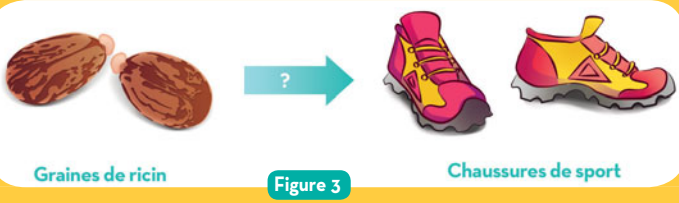


Figure 3

Ces grosses molécules polymères d'origine naturelle sont fabriquées par le groupe Arkema sous le nom commercial de Rilsan. Léger, résistant à l'eau et aux solvants même à des températures élevées, très flexible, le rilsan a d'abord été utilisé dans l'industrie textile avant de remplacer le métal dans de nombreuses applications de l'industrie automobile.

Du rilsan au Pebax® Rnew

Un élastomère est un matériau constitué de longues chaînes de molécules enroulées comme une pelote de laine dont il a l'élasticité.

Les **ingénieurs chercheurs** d'Arkema ont cherché des nouvelles applications pour cette merveilleuse molécule. C'est à l'usine Arkema de Kyoto qu'est fabriqué un nouveau polymère en mélangeant du Rilsan avec des molécules qui contiennent des anneaux constitués par des fonction éther (C-O-C), c'est-à-dire des atomes de carbone C liés par un atome d'oxygène O.

Ce nouveau polymère (dont la formule est un secret industriel) qui a des propriétés élastiques extraordinaires (c'est un élastomère) s'appelle le Pebax® Rnew. Il est utilisé pour fabriquer les semelles de chaussures des champions olympiques par le fabricant japonais Mizuno, mondialement connu.

La fabrication du Pebax® Rnew

Nora et Loic ont rencontré, à Kyoto, les **ingénieurs de recherche** qui ont mis au point la molécule du Pebax® Rnew (*Figure 4*), et les **techniciens** qui ont testé ses propriétés montrant qu'elle était plus élastique et plus résistante que les autres polymères (*Figure 5*).

Figure 4

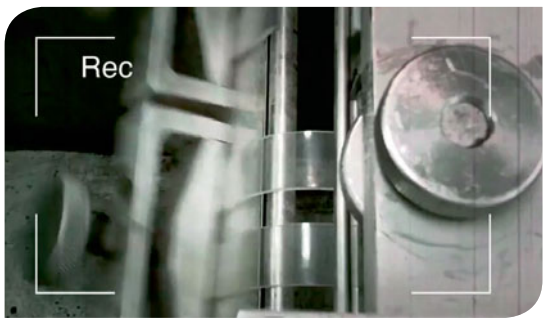


Figure 5

Les étudiants ont également visité l'**atelier de fabrication** où le Pebax® Rnew est préparé en grosse quantité pour être vendu aux clients, notamment aux fabricants de chaussures de course.

Résultat : la chaussure de course

Qu'est-ce que la chimie a apporté à ces chaussures ?

L'ingénieur responsable des relations avec les clients (*Figure 6*) répond à cette question :

– la légèreté :

– l'élasticité : les semelles en Pebax® Rnew renvoient l'énergie quand on court et elles amortissent les chocs ;

– la stabilité et la résistance à la pliure : les semelles de chaussures doivent plier, et à force de plier elles se cassent. Ce qui n'est pas le cas avec le Pebax® Rnew.

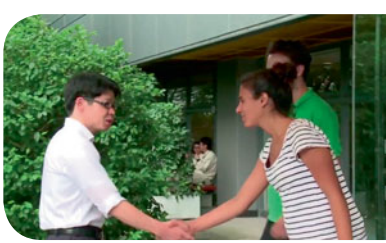


Figure 6

Conclusion

Plus de 95 % de Pebax® Rnew étant d'origine végétale par rapport aux autres polymères (issus du pétrole), on économise les ressources non renouvelables et la production de gaz carbonique (effet de serre) liée à sa fabrication est diminuée de 20 à 30 %.

Un tissu anticourbatures grâce à la chimie

Destination Brésil : Nordine (Bac professionnel) et Pauline (étudiante journaliste).

L'effort musculaire entraîne des courbatures, cette sensation d'avoir mal dans les muscles. Tout ce qui améliore la circulation du sang dans les petits vaisseaux qui irriguent les muscles favorise l'apport d'oxygène dans les cellules musculaires et soulage cette douleur (voir le chapitre « La fabrique des champion : la contraction musculaire »).

C'est pourquoi les massages ou les lampes infrarouges des kinésithérapeutes *font du bien*.

Les chimistes inventent des tissus intelligents

L'usine Rhodia Fibras de Santos (à côté de Sao-Paulo) fait partie du groupe chimique international franco-belge Rhodia Solvay. **Le directeur de la recherche et du développement** a demandé, aux chercheurs de ses laboratoires, de fabriquer des nouvelles fibres permettant de réaliser des tissus intelligents qui apportent du bien-être et de l'harmonie. Éliminer les courbatures est pour eux un beau défi : les chercheurs du laboratoire Rhodia Fibras ont travaillé trois ans sur ce projet !

Un polymère peut-il agir comme une lampe infrarouge ?

L'objectif semble simple : il faut incorporer dans la fibre polymère d'un tissu, des particules minérales capables d'absorber et d'accumuler la chaleur produite par le corps et redonner ensuite cette énergie sous forme de rayons infrarouges du même type que ceux de la lampe infrarouge du kinésithérapeute (*Figure 7*). Ces rayons infrarouges stimuleront les cellules musculaires et amélioreront la circulation sanguine donc l'oxygénation du muscle, ce qui éliminera les courbatures. L'idée est bonne mais encore faut-il la réaliser !

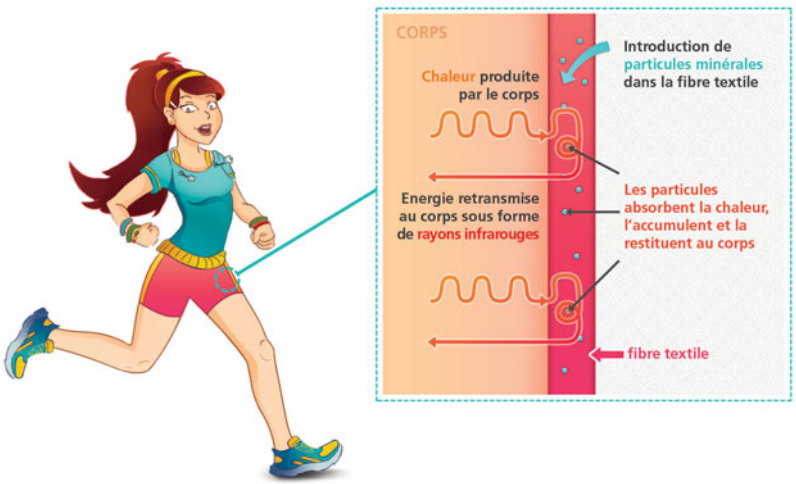


Figure 7

Les défis pour le laboratoire de recherche

Les **ingénieurs chercheurs** ont dû résoudre deux défis :

– trouver les particules minérales possédant cette propriété (mais bien sûr c'est un secret !) ;

– réussir à les incorporer dans le réseau des grosses molécules polymères des fibres du tissu : cela est réalisé par fusion du mélange polymère-particule (*Figure 8*).

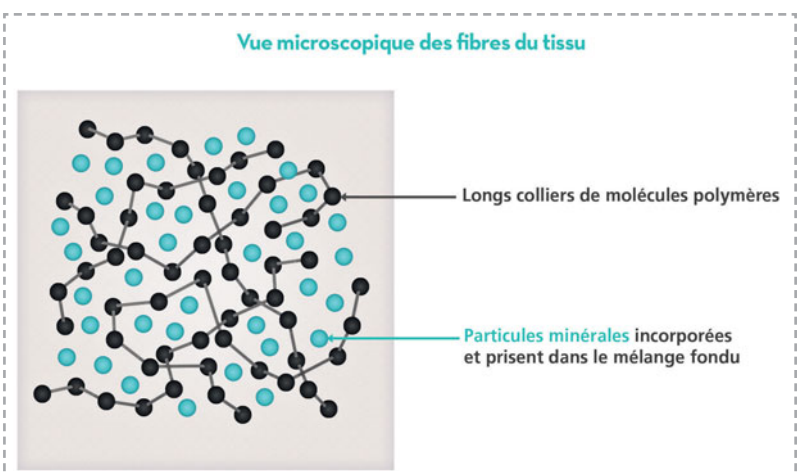


Figure 8

La réussite des ingénieurs : du polymère au tissu anticourbatures

On voit, sur la *figure 9*, l'atelier de production où le polymère est fondu puis passe à travers des filières pour être ensuite enroulé sur de grosses bobines.

Figure 9

Figure 10

Nordine et Pauline ne sont-ils pas magnifiques dans leur tee-shirt en fibre Emana, prêts à accomplir sans fatigue des exploits sportifs.

Du pétrole à l'herbe douce des nouveaux terrains de football

Destination Espagne : Perrine (étudiante en doctorat) et Mickael (étudiant journaliste).

À Tarragone, Perrine et Mickael ont rencontré des joueurs de football heureux : ils s'entraînent sur un terrain toujours de très bonne qualité, même après un gros orage, sur lequel ils ne se font pas mal quand ils tombent car l'herbe reste douce et moelleuse (*Figure 11*)…

Cette herbe est fabriquée par les chimistes de l'usine Dow Chemicals de Tarragone. Son histoire commence avec l'arrivée des gros bateaux pétroliers dans le port de Tarragone (*Figure 12*).

Figure 11

Figure 12

Du pétrole à l'éthylène

Le pétrole (le naphta) est transporté par de gros tuyaux du port à l'usine (*Figure 13*) où les grosses molécules d'hydrocarbures (qui contiennent du carbone et de l'hydrogène) du pétrole sont coupées en morceaux, dans des énormes fours, à une température de 700 °C en présence de vapeur d'eau (le vapocraquage). Ce procédé donne un gaz appelé l'éthylène C_2H_4 qui est une molécule de base pour toute la chimie utilisant le pétrole comme matière première (la pétrochimie).

Figure 13

Du gaz éthylène au gazon

L'**éthylène**, mélangé à de l'hydrogène, passe dans des réacteurs cylindriques de plusieurs mètres de diamètre et de plusieurs dizaines de mètres de haut à une température de 100 °C.

Le catalyseur est un composé mis au point par les chimistes qui augmente la vitesse de la réaction à plus basse température sans être consommé.

L'ingénieur responsable de la production d'éthylène montre à Perrine et Mickael comment, en présence d'un catalyseur (*Figure 14*), les petites molécules d'éthylène s'accrochent les unes aux autres (se polymérisent) pour former de longues chaînes dans lesquelles les atomes de carbone sont liés les uns aux autres. On obtient alors le polyéthylène (*Figure 15*) que l'on récupère sous forme de petites billes.

Figure 14

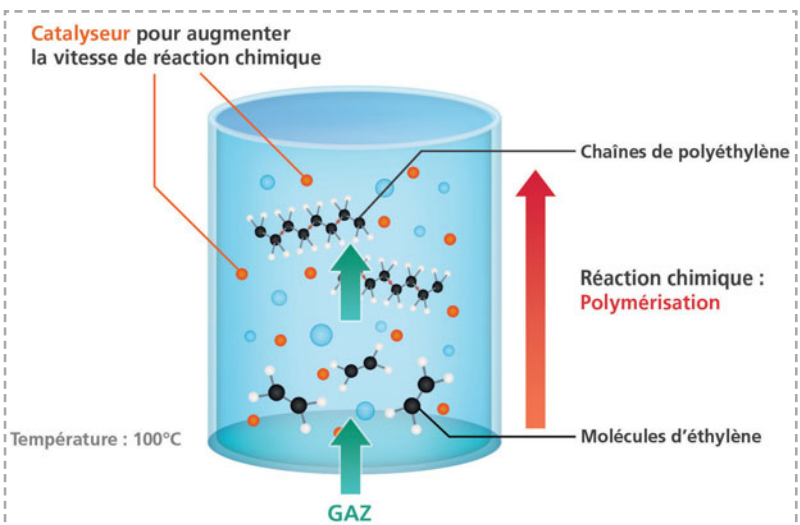


Figure 15

$$H_2C = CH_2 \rightarrow (CH_2 - CH_2 - CH_2)_n$$

La nature du catalyseur et la pression d'hydrogène permettent aux **opérateurs** qui suivent la fabrication, à partir de la salle de contrôle (*Figure 16*), de contrôler la longueur des chaînes, d'accélérer ou de stopper la réaction.

Des billes de polyéthylène au gazon moelleux

Pour fabriquer le Dowlex, la matière plastique à partir de laquelle est fabriquée l'herbe douce du gazon du terrain de football, les **ingénieurs du laboratoire de recherche et développement** sont à l'écoute des besoins des footballeurs (*Figure 17*).

Le polymère utilisé doit être solide et résistant au déchirement et à l'étirement : pour cela, les ingénieurs fondent et mélangent (mais la recette est bien sûr secrète !) les billes de polyéthylène avec d'autres polymères.

Les propriétés du mélange sont testées par **les techniciens** sur des machines jusqu'à obtenir les films plastiques parfaits de Dowlex qui sont découpés et assemblés pour fabriquer le super gazon pour les terrains.

Figure 16

Figure 17

Conclusion

Ces gazons synthétiques sont utilisés dans beaucoup de grandes compétitions sportives comme aux Jeux Olympiques de Londres ou encore pour les matchs de hockey. Dans ce dernier cas, les brins d'herbe doivent être plus serrés pour que la balle roule plus vite.

L'histoire d'Albert, le ballon de football des Jeux Olympiques 2012

Destination Allemagne : Sarah (élève ingénieur) et Tanguy (étudiant journaliste).

Sarah et Tanguy ont rencontré, en Allemagne sur le célèbre stade du Bayer Leverkusen, une vedette : Albert le ballon de football officiel des jeux olympiques 2012, merveille de haute technologie et d'innovation (*Figure18*).

Albert leur a été présenté par Thomas **l'ingénieur chef du projet** « Ballon » du laboratoire de recherche sur les matériaux du groupe industriel Bayer.

Figure 18

Albert, merveille de haute technologie

Si Albert est une petite merveille, c'est qu'il résulte de la combinaison de cinq couches concentriques de matériaux spécialement étudiés qui en font sa perfection. Chaque couche utilise une composition différente d'un composé appelé Impranil, matière plastique polymère fabriquée par la société Bayer, dont la performance donne au ballon des qualités spéciales : dureté, souplesse, volume, élasticité et résistance (*Figure 19*).

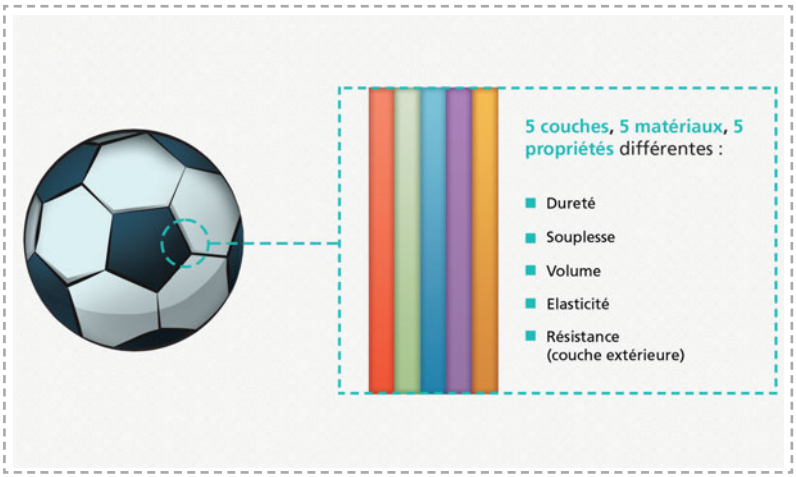


Figure 19

La naissance d'Albert

L'Impranil résulte d'un mélange de deux types de molécules : les polyols et les polyisocyanates.

$$R\text{-}N=C=O \;+\; R'\text{-}O\text{-}H \rightarrow R\text{-}N=C\text{-}\underset{\displaystyle O\text{-}R'}{\underset{|}{C}}=O$$

C atome de Carbone, H atome d'hydrogène, O atome d'oxygène, N atome d'azote.

R et R' sont des chaînes d'atomes de carbone sur lesquelles peuvent être accrochés différents groupes qui donneront les propriétés recherchées.

Ce qu'il faut retenir dans cette réaction, c'est que les groupes terminaux des polyisocyanates et des polyols ont des affinités l'un pour l'autre et qu'ils s'accrochent ensembles pour former de longues chaînes polymères.

La fabrication d'Albert

Pour fabriquer Albert, **les chercheurs** de Bayer ont préparé des molécules avec des groupes R et R' afin que le mélange final soit une pâte

que l'on puisse étaler comme du beurre sur du pain. On peut aussi la colorer (*Figure 20*).

Cette fine couche séchée se transforme en un solide très résistant que l'on peut étirer.

On réalise ainsi les cinq couches de propriétés très différentes qui vont servir à faire le ballon Albert (*Figure 21*).

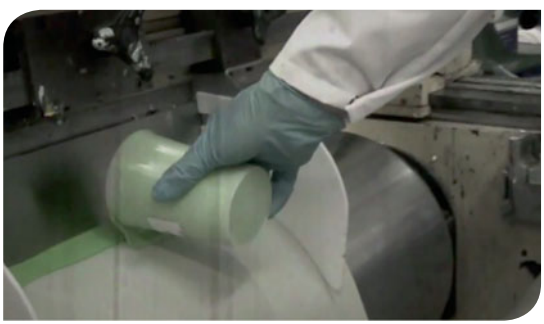


Figure 20

Figure 21

Conclusion

Vous comprenez pourquoi les chimistes ont beaucoup réfléchi et travaillé pour mettre au point la composition des matériaux qui a conduit à la petite merveille de ballon de foot qu'est Albert.

LES CHIMISTES DU SPORT EN FRANCE

Qui sont ces chimistes ? que font-ils ?

Voici les grands domaines dans lesquels les chimistes français travaillent.

La fabrication des polymères

Les bateaux, vélos, skis, chaussures, ballons, vêtements, tous les matériels et équipements de sports sont fabriqués à partir de polymères.

Ces polymères de nature et de propriétés variées sont fabriqués par les grands groupes industriels de chimie : Arkema, Solvay Rhodia, Basf, Bayer, Dow Chemicals qui ont des usines en France et partout dans le monde.

Les ingénieurs mettent au point, dans **les laboratoires de recherche et développement de ces grands groupes,** les molécules et les mélanges de molécules qui correspondent aux besoins de leurs clients du monde du sport. Ils testent leurs propriétés avec l'aide de leurs collègues **techniciens**. Si les propriétés conviennent, les polymères sont fabriqués dans les **ateliers de fabrication** par des **techniciens et des opérateurs**.

La fabrication du matériel de sport

Les fabricants de bateaux, skis, vélos, chaussures ou vêtement de sport, réalisent leur matériel en étroite concertation avec les sportifs de compétition, qui leur expliquent les propriétés ou qualités dont ils ont besoin.

Les ingénieurs choisissent alors les matériaux fabriqués par les grands groupes industriels qui répondent le mieux à leurs besoins d'usage, souvent multiples et contradictoires : on les veut performants mais pas chers, rigides mais légers, résistants mais souples.

Il faut réunir différents matériaux pour obtenir celui qui convient, les assembler pour fabriquer le matériel. Ce travail se fait en étroite collaboration avec **les techniciens.**

Le matériel est testé par les sportifs de compétition, ce qui donne lieu, ensuite, à de nombreux échanges entre chimistes et champions pour mettre au point le matériel adéquat.

La santé des sportifs

Les chimistes et chercheurs des instituts de recherche (CNRS, INSERM) travaillent en collaboration avec les biologistes, les physiologistes et les médecins pour mieux comprendre la chimie du corps sous l'effet des exercices physiques.

Les chercheurs et techniciens, spécialistes de chimie analytique, aident pour lutter et faire face aux méthodes de dopage qui ne cessent d'évoluer. Pour cela, ils mettent en place des méthodes d'analyse et de détection de plus en plus performantes dans des laboratoires de recherche publiques et privés.

Conclusion

Tout le monde ne peut pas être un champion sportif et gagner sa vie grâce aux compétions mais il est possible de travailler dans le domaine du sport en devenant chimiste, au niveau technicien ou ingénieur, chez un fabricant de matériel et d'équipement sportif ou dans un centre de recherche et développement d'un grand groupe industriel.

En tant que chercheur ou technicien, il est possible aussi de travailler pour mieux comprendre les effets du sport sur notre corps ou préserver la santé des sportifs en luttant contre le dopage.

Directeur d'usine

« Au quotidien, je suis impliqué dans la démarche qualité, hygiène et sécurité. Je suis le coordinateur et le manager sur les plans administratif, technique et informatique. Je gère l'agenda, le suivi de la production, la gestion des équipes et de l'ensemble des personnels du site.

Le directeur d'usine participe à divers réseaux professionnels :

- les responsables de production de la zone industrielle d'implantation,
- les institutions locales,
- les instances de concertation entre l'industrie, l'administration, le public et les ONG,
- les associations d'industries ou patronales. »

En bref

Diriger et coordonner l'ensemble des activités du site de production et être garant du procédé et de la conformité des produits spécifiés dans un cahier des charges.

Formation et prérequis

BAC+5 :

Diplôme d'Ingénieur +

- Formation en management des Organisations
- 5 à 10 ans d'expérience

Qualités requises

- Charisme, autorité, rigueur
- Leadership
- Sens des relations humaines

Revenu en début de carrière

- 60 à 100 K-Euros

Environnement de travail

- En usine avec visites de centres de production et de clients
- Travail collaboratif

Dans un grand groupe, le directeur d'usine est sous la responsabilité du directeur industriel du groupe.

Aidé par une assistante de niveau Bac à Bac+ 2 pour les tâches administratives quotidiennes, il travaille au sein de l'usine en liaison avec l'animateur qualité et le représentant des personnels ; les négociations syndicales sont particulièrement importantes (30 % du temps). Au niveau du siège, il est en relation avec le chef de projet.

Déplacements

- Sur les sites de production du groupe au niveau national et international

Débouchés et évolutions

- Directeur d'une usine de taille périeure (250 à 500 personnes)
- Directeur industriel, directeur aux investissements de l'entreprise.

Resp. développement des procédés

« Au quotidien, j'améliore le fonctionnement des unités de production en respectant les impératifs ''économie, sécurité, environnement.'' Je conçois et coordonne de nouveaux procédés, propose des modifications, transmets les données au responsable et au bureau d'études. »

En bref

Mettre au point de nouveaux procédés (projets pilotes), proposer des modifications de procédés ou d'installations.

Formation et prérequis

BAC+5 :

- Ecole d'ingénieurs avec spécialisation en génie des procédés

OU

- Université technologique avec master en génie des procédés

Qualités requises

- Connaissances des techniques et des matériels
- Rigueur, fiabilité, maîtrise de soi
- Capacité d'analyse et travail en réseau

Revenu en début de carrière

- 45 à 60 K-Euros

Environnement de travail

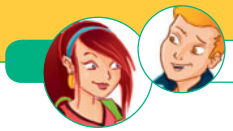
- Site de production
- Nombreux interlocuteurs

Déplacements

- National
- International

Débouchés et évolutions

- Responsable de production



Responsable de production

« Au quotidien, je veille au bon fonctionnement de l'installation, à la qualité des produits fabriqués et à l'utilisation des moyens de fabrication dans le cadre des règles de QHS. J'encadre le travail des personnels affectés à ces unités. Je dois rendre compte des travaux, des résultats (respect du planning, budget, etc.). »

En bref

étudier la toxicité des produits issus de différentes industries et leurs répercussions sur les écosystèmes et la santé des populations.

Formation et prérequis

BAC+5 :

- Ecole d'ingénieur, spécialité génie des procédés

Qualités requises

- Bonnes connaissances techniques
- Capacité d'analyse
- Leader et sens des relations humaines

Revenu en début de carrière

- 40 à 60 K-Euros

Environnement de travail

- Site de production
- Forte implication
- Travail collaboratif important

Déplacements

- Sur le plan local et régional

Débouchés et évolutions

- Responsable industriel au siège
- En usine de plus grande taille
- Grande gamme de postes possible

Ingénieur procédés

« Au quotidien je teste et valide la mise au point des nouveaux procédés les optimise par simulation; je contrôle la mise en oeuvre des procédés pilotes et rédige des rapports techniques. Je travaille avec une équipe de techniciens du laboratoire de procédés dont j'ai la responsabilité. »

En bref

Apporter des réponses innovantes, performantes et techniquement adaptées aux besoins de l'entreprise

Formation et prérequis

BAC+5+ 2 ans d'expérience :

Ecole d'Ingénieur / Université+

- Connaissances approfondies en simulation des procédés
- Bonne pratique de l'anglais

Qualités requises

- Sens des réalités, rigueur, autonomie
- Sensibilité aux règles de QHS
- Capacité à travailler en équipe et réseau

Revenu en début de carrière

- 40 à 50 K-Euros

Environnement de travail

- Laboratoire de procédés sur le site de production.

Déplacements

- Déplacements sur les différents sites de production.
- Participation à des colloques en France et à l'étranger.

Débouchés et évolutions

- Responsable de développement de procédés.

Technicien de production

« Au quotidien, je travaille sur la mainte nance, le réglage et la mise en route d'une ligne de production. Je contrôle la conformité qualitative et quantitative des installations. J'assure la maintenance de premier niveau (simple) et l'entretien de l'installation. Je forme et accompagne les nouveaux opérateurs. »

En bref

Piloter tout ou partie d'une installa tion complexe dans le cadre d'un procédé de production, dans le respect des consignes.

Formation et prérequis

BAC+3 :

Licence professionnelle

Qualités requises

- Réactivité, sens pratique
- Sens des responsabilités
- Ouverture d'esprit

Revenu en début de carrière

- 20 à 30 K-Euros

Environnement de travail

- Site de production
- Travail collaboratif

Déplacements

- Sur le plan local exclusivement

Débouchés et évolutions

- Possibilité de formation professionnelle sur plusieurs années (CNAM)
- Ingénieur procédés
- Responsable fabrication

Chef de projet bureau d'études

« Au quotidien, je constitue et coordonne des équipes, je fais le choix des solutions techniques et moyens à mettre en œuvre. Je supervise des chantiers, planifie, assure le lancement, le contrôle et le suivi du projet. Je surveille des installations et leur conformité en matière de sécurité, hygiène et environnement. »

En bref

Mettre au point de nouveaux procédés (projets pilotes), proposer des modifications de procédés ou d'installations.

Formation et prérequis

BAC+5 :

Ecole d'Ingénieur / Université+

- Diplôme d'ingénieur généraliste, ingénieur chimiste, ingénieur INSA

Qualités requises

- Adaptabilité, rigueur
- Aptitude au management
- Compétence en gestion
- Aptitude à la négociation
- Anglais indispensable

Revenu en début de carrière

- 45 à 60 K-Euros

Environnement de travail

- Au sein des sites industriels, dans les services techniques
- Travail collaboratif important

Dans un grand groupe, le directeur d'usine est sous la responsabilité du directeur industriel du groupe.

Aidé par une assistante de niveau Bac à Bac+ 2 pour les tâches administratives quotidiennes, il travaille au sein de l'usine en liaison avec l'animateur qualité et le représentant des personnels ; les négociations syndicales sont particulièrement importantes (30 % du temps).

Au niveau du siège, il est en relation avec le chef de projet.

Déplacements

- Très nombreux sur les autres sites de production
- À l'étranger si entreprise implantée à l'international.

Débouchés et évolutions

- Chargé de projet
- Responsable procédés
- Directeur d'usine

Chercheur en chimie

« Au quotidien, j'élabore des explications théoriques à partir de faits expérimentaux, je conçois et mets au point des méthodes et de nouveaux modèles, je sélectionne des données, synthétise des résultats, utilise des outils de veille et des méthodes de calcul, définis et planifie les étapes d'une étude. »

En bref

Effectuer des travaux de recherche et de développement en chimie, pour identifier, concevoir, synthétiser et tester de nouvelles molécules, voies de synthèse ou amélioration de procédés.

Formation et prérequis

BAC+8 :

- Université : Master de chimie

OU

- Ecole d'ingénieur en chimie

\+ Doctorat

- Bonne maîtrise de l'anglais

Qualités requises

- Rigueur, patience, minutie,
- Curiosité scientifique,
- Sens de l'organisation du travail scientifique et de la gestion d'équipe

Revenu en début de carrière

- 35 à 40 K-Euros

Environnement de travail

- Site de production ou centre de recherche
- Travail en équipe

Le chercheur en chimie est à la charnière entre la production, ce qui la précède et ce qui en découle. Il est aussi en contact avec des laboratoires extérieurs.

Déplacements

- Stages dans d'autres centres de recherche du groupe
- Participation à des colloques, congrès, séminaires scientifiques en France et à l'étranger

Débouchés et évolutions

- Chef de département rattaché au directeur de l'entreprise

Responsable laboratoire d'analyses

« Au quotidien, je planifie et organise les activités, les projets et les moyens humains, budgétaires, techniques et informatiques de l'unité. Dans la phase de développement, je définis avec le chef de projet, les caractéristiques et spécifications des produits et matières premières et en assure le suivi. »

En bref

Mettre en œuvre et contrôler la réalisation des analyses physico-chimiques et biologiques, en pilotant les activités et les ressources du service.

Formation et prérequis

BAC+8 :

- Université : Master de chimie

OU

- Ecole d'ingénieur en chimie

\+ Doctorat (avec stage d'un an sur une technique de pointe)

- Bonne maîtrise de l'anglais

Qualités requises

- Rigueur, patience, minutie
- Curiosité scientifique
- Sens de l'organisation sur les plans scientifique et humain

Revenu en début de carrière

- 40 à 60 K-Euros

Environnement de travail

- Site de production
- Travail avec le contrôleur de qualité et relation avec les autres services

Le responsable de laboratoire d'analyses travaille dans le service d'analyses, proche de l'atelier de production. Il peut avoir à contrôler des produits en cours de fabrication dans un processus de fabrication continu (fermentation de microorganismes par exemple).
L'équipe est composée de techniciens analystes de niveau Bac +2 (BTS ou DUT) et d'une assistante qui met en forme les documents, classe et archive les données.

Les contacts sont quotidiens avec le contrôleur de qualité.

Les relations sont fréquentes avec les autres services intérieurs et extérieurs à l'entreprise.

En marge de son travail, le responsable de laboratoire d'analyses peut être amené à être expert judiciaire sur la qualité d'un produit.

Déplacements

- Participation à des colloques et séminaires scientifiques et techniques
- Déplacements national et international

Débouchés et évolutions

- Responsabilité de l'assurance qualité au niveau du groupe

Technicien laboratoire d'analyses

« Au quotidien je participe à la réalisation de recherches en vue de développer de nouveaux produits. Je réalise des contrôles qualité et des analyses physicochimiques. Je conçois des fiches analytiques, restitue des travaux d'analyse et des rapports de synthèse. »

En bref

Seconder le responsable du laboratoire de contrôle et d'analyses.

Formation et prérequis

BAC+2 :

DUT ou BTS

Qualités requises

- Rigueur scientifique,
- Sens de l'observation,
- Exigence de sécurité et de qualité
- Sensibilité à l'environnement

Revenu en début de carrière

- 20 à 30 K-Euros

Environnement de travail

- Laboratoire de contrôle et d'analyses
- Contact avec le responsable du laboratoire et les agents de fabrication

Déplacements

- Déplacements sur le plan local

Débouchés et évolutions

- Après formation, postes à responsabilité en laboratoire d'analyses, de procédés ou en fabrication.

Responsable Projet REACH

« Au quotidien je mets en œuvre, sur les sites, le règlement REACH. Je clarifie la règlementation européenne REACH et ses conséquences. Je facilite la communication en interne, avec les clients et fournisseurs. Je mets en conformité les activités industrielles avec la règlementation. »

En bref

Mettre en œuvre le règlement REACH au sein de l'entreprise.

Formation et prérequis

BAC+5 :

Ecole de chimie avec Master qualité

- Maîtrise de l'anglais indispensable.

Qualités requises

- Maîtrise des outils techniques, administratifs et juridiques
- Excellente communication
- Aptitude à définir son rôle

Revenu en début de carrière

- 40 à 50 K-Euros

Environnement de travail

- En relation directe avec le chef de projet
- Travail collaboratif important.

Le responsable Projet REACH est assisté d'un ou plusieurs adjoints pour rassembler et valider les données d'études éco-toxicologiques, établir des questionnaires, adapter des outils, identifier les besoins en ressources humaines.

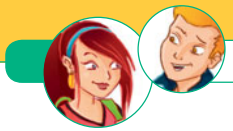
En relation directe avec le chef de projet, il a également des contacts permanents avec les experts toxicologiques et juridiques, ainsi qu'avec les responsables Qualité-Hygiène-Sécurité de chacun des sites.

Déplacements

- Sur les sites de l'entreprise
  Participation à des colloques nationaux et
- internationaux

Débouchés et évolutions

- A l'intérieur de sa spécialité



Spécialiste brevets et affaires réglementaires

« Au quotidien, j'effectue un travail de veille technologique et scientifique, je participe à de nombreux colloques et travaille avec les autorités réglementaires. Je participe avec les associations à l'élaboration des textes règlementaires et en coordonne l'application dans l'entreprise. »

En bref

Une double compétence technique et rédactionnelle permettant de rédiger les brevets déposés par le groupe et d'utiliser ceux qui sont déjà déposés selon les normes internationales.

Revenu en début de carrière

BAC+6 :

Diplôme d'ingénieur + Ecole des Brevets

- Stage obligatoire à l'étranger Expérience en R&D
- 2 langues étrangères minimum : anglais indispensable et allemand recommandé.

Qualités recquises

- Gestion de projet, rigueur, disponibilité
- Curiosité intellectuelle, respect de la confidentialité, diplomatie.

Revenu en début de carrière

- 40 à 60 K-Euros

Environnement de travail

- Siège de l'entreprise
- Travail avec un réseau mondial de directions scientifiques et d'officiels

Le spécialiste Brevets et affaires réglementaires travaille avec un réseau de directions scientifiques dans le monde et en « temps réel ». Même durant les congés il faut pouvoir répondre à la question d'une autorité dans le monde.

Il est en relation au siège de l'entreprise avec le chef de projet et le responsable projet REACH, mais aussi à l'usine avec le Directeur d'usine, le chef de projet Bureau d'études, responsable qualité, hygiène et sécurité (QHS) et avec la Direction de l'évaluation des affaires règlementaires du Groupe, les représentants du Ministère de l'environnement (chargés de missions pour la mise en place des réglementations REACH), les représentants de l'industrie (associations professionnelles).

Déplacements

- En Europe et à l'international pour assister à de nombreux congrès.
- Travail par visio et télé conférence

Débouchés et évolutions

- Evolution au sein de la spécialité.

Spécialiste QHS

« Au quotidien, je rédige des méthodes et procédures garantissant la qualité des produits. Je conseille les équipes de production et traite les réclamations clients. Sur le plan humain, je vérifie le bon déroulement des procédures auprès des opérateurs, les sensibilise et anime des réunions « qualité ». »

En bref

Rappeler à tous au quotidien, le respect des normes et procédures et veiller à leur mise en application.

Formation et prérequis

BAC+5 :

Ecole d'ingénieur

- Spécialité QHS

Qualités requises

- Autonomie, indépendance
- Capacité à communiquer et à enseigner
- Gestion des conflits

Revenu en début de carrière

- 45 à 60 K-Euros

Environnement de travail

- Proche des équipes de production
- Réunions avec le toxicologue et le spécialiste des affaires réglementaires scientifiques.

Déplacements

- Au siège pour colloques et séminaires de formation
- Déplacements local et national

Débouchés et évolutions

- Responsable assurance qualité du groupe ; responsable d'usine.

This page intentionally left blank

ÉNIGMES

Des solutions détaillées sont proposées sur le site de Médiachimie dans l'espace éducation collège (mediachimie.org).
Le niveau requis pour chaque exercice est précisé grâce au symbole ★ (reprendre le symbole qui sera mis) : ★ (de la 6e à la 4e) ; ★★ (à partir de la 3e).

1. Le corps d'un futur champion★

Coup de pouce

Quelle serait la masse des éléments à l'état de traces chez un sumotori pesant exactement 100 kilogrammes ?

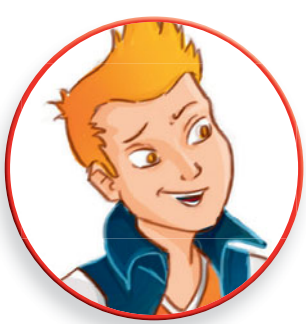
Léa : « Max, sais-tu que le corps d'un champion est constitué à 99,9 % de seulement 13 éléments : oxygène, carbone, hydrogène, azote, calcium, phosphore, potassium, soufre, sodium, chlore, magnésium, iode et fer ? »

« Et le reste ? » demande Max.

« Ce sont d'autres éléments à l'état de traces » répond Léa.

« Je ne suis pas encore un champion, mais j'en déduis que mon corps contient seulement environ 40 grammes de ces traces » observe Max.

Quel est le poids approximatif de Max ?



Réponse : 1. 40 kilogrammes.

2. Glucose et oxygène★

Léa et Max vont faire un footing d'entraînement sur le stade.

Partis en petite foulée, leur respiration s'accélère progressivement.

« Pourquoi a-t-on besoin de respirer plus vite ? » demande Léa.

« Tes cellules musculaires consomment du glucose et chaque molécule de glucose a besoin de six molécules d'oxygène pour se transformer » répond Max.

Une mole de glucose pèse 180 grammes, tandis qu'une mole d'oxygène pèse 32 grammes.

Quelle masse d'oxygène sera nécessaire pour consommer 10 grammes de glucose ?

Coup de pouce

180 grammes de glucose se combinent avec 6 × 32 grammes d'oxygène. Quelle masse d'oxygène se combine avec 100 grammes de glucose ?

Réponse : 2. Environ 108 grammes.

3. Du titane dans nos skis ?★

« Sais-tu que nos skis comprennent des couches de titane pour les renforcer ? » dit Léa à Max.

« Du titane ? Mais c'est un métal rare, non ? » répond Max.

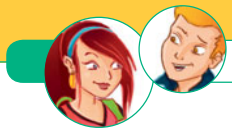
« Pas si rare que cela, le titane occupe le dixième rang des atomes composant l'écorce terrestre ; il est aussi résistant que l'acier et beaucoup plus léger. 1 cm^3 de titane pèse 4,5 g alors que 1 cm^3 d'acier pèse 7,5 g. Dans ta paire de ski qui pèsent 2,5 kg, les plaques de titane représentent 20 % du poids » observe Léa.

Combien pèserait la paire de ski de Max si tout le volume de titane était remplacé par de l'acier ?

Coup de pouce

Calculer la masse de titane contenue dans une paire de ski.
À 4,5 grammes de titane, on ferait correspondre 7,5 grammes d'acier. Quelle masse d'acier correspondrait à la masse de titane contenue dans une paire de ski ?

Réponse : 3. Environ 2,833 kilogrammes.



4. S'entraîner en altitude★

« Sais-tu pourquoi les coureurs de fond s'entraînent en altitude ? » demande Léa.

Coup de pouce

Au niveau de la mer, 1 000 litres d'air pèsent 1,225 kilogrammes. À 3 000 mètres d'altitude, la même masse d'air occupera un volume plus important. Lequel ?

« Euh… Parce qu'ils sont plus légers ? » propose Max.

« Non, c'est complètement négligeable, et cela n'améliorerait de toutes façons pas leurs performances. La véritable raison est que cela leur permet de développer le volume de leurs poumons. Au niveau de la mer, 1 000 litres d'air pèsent 1,225 kg, alors que sur des hauts plateaux à 3 000 mètres d'altitude, comme ceux du Kenya ou d'Éthiopie par exemple, 1 000 litres d'air ne pèsent que 0,91 kg. En altitude, les poumons des athlètes doivent donc augmenter leur capacité pour absorber la même quantité d'oxygène » observe Léa.

Au niveau de la mer et au repos, un adulte inspire environ 7,5 litres d'air par minute.

Quel volume d'air doit-il inspirer, à 3 000 mètres d'altitude, pour absorber la même quantité d'oxygène ?

Réponse : 4. Environ 10,1 litres.

5. La formule de Blondel★★

Léa et Max sont dans le métro parisien. À une correspondance entre deux lignes, ils doivent monter un escalier mécanique qui est malencontreusement en panne. Habitués à monter les escaliers quatre à quatre, ils sont tout essoufflés arrivés en haut.

« Nous manquons d'entraînement » dit Max.

« Non, les escaliers mécaniques ne sont pas conçus pour être montés comme des escaliers fixes » dit Léa. « Un architecte français, François

Blondel (1618-1686) a d'ailleurs mis cela en équation. Il considérait qu'un homme de taille moyenne fait, sans effort, des pas de deux pieds, soit environ 65 cm, et que pour monter un escalier, l'effort d'avancement vertical est double de l'effort d'avancement horizontal. Si h est la hauteur d'une marche d'escalier et p sa profondeur, pour ne pas se fatiguer, on doit avoir un pas égal à $p + 2h = 65$ cm » observe Léa.

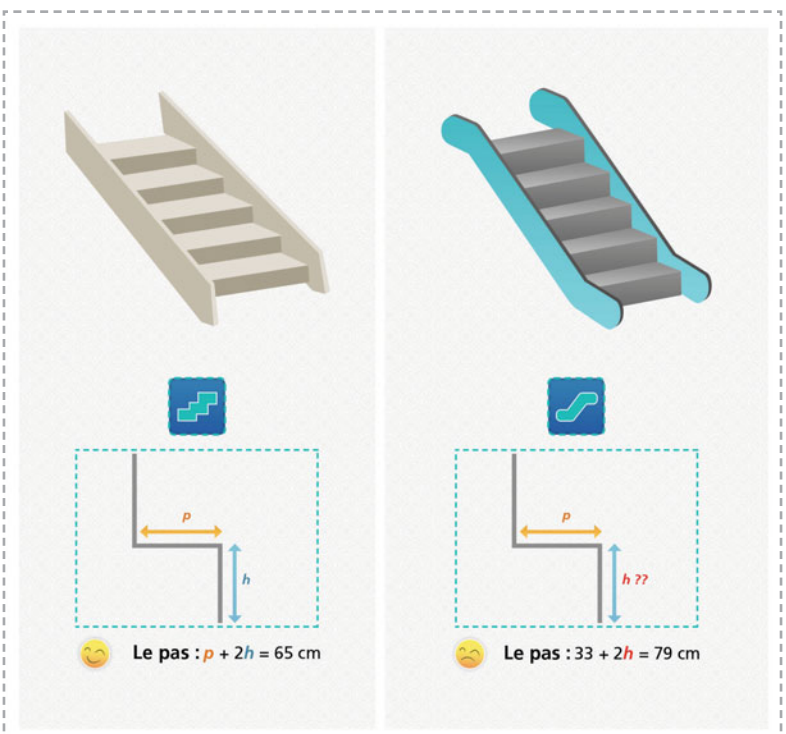
Après un petit calcul, Max dit à Léa : « On est très au-dessus, en appliquant la formule de Blondel à cet escalier mécanique, j'arrive à un pas de 79 cm ! ».

Sachant que les marches ont une profondeur de 33 cm, quelle est leur hauteur ?

Coup de pouce

Il s'agit ici de trouver la hauteur d'une marche h sachant que $33 + 2h = 79$.

Réponse : 5. 23 centimètres.



6. Le ballon de foot « Albert »★★

Un ballon de football homologué est constitué de 12 pentagones réguliers (en noir sur la figure) et d'un certain nombre d'hexagones réguliers (en blanc). Chaque pentagone est entouré de cinq hexagones et chaque hexagone est entouré de trois pentagones et de trois hexagones.

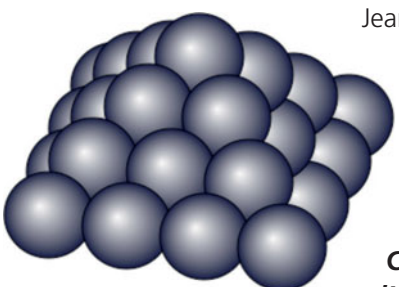
Combien un ballon de football compte-t-il d'hexagones ?

Coup de pouce

Additionner les hexagones entourant tous les pentagones. Attention, chaque hexagone aura été ainsi compté plusieurs fois.

Réponse : 6. 20 hexagones.

7. Les balles de tennis★★



Jean Pile est marchand d'articles de sport. Dans sa vitrine, pour la décorer, il a construit un empilement de balles de tennis. Chaque étage de son empilement est carré, sans trou. Le dernier étage ne comprend qu'une seule balle, l'avant dernier quatre balles, l'avant-avant-dernier neuf balles, etc.

Jean a utilisé 285 balles au total.

Combien la pyramide de Jean Pile comporte-t-elle d'étages ?

Coup de pouce

Chaque étage compte un nombre de balles égal au carré d'un nombre entier : 1 balle, 2^2 = 4 balles, 3^2 = 9 balles, etc.

Réponse : 7. 9 étages.

8. Course automobile★★

Lors de cette course automobile longue de 480 km, le vainqueur et le dernier arrivé ont tous les deux roulé à une vitesse constante. En 12 minutes, la voiture du vainqueur faisait deux kilomètres de plus que la voiture la moins rapide qui a mis 3 heures 12 minutes à boucler le parcours

Quelle était la vitesse de la voiture du vainqueur ?

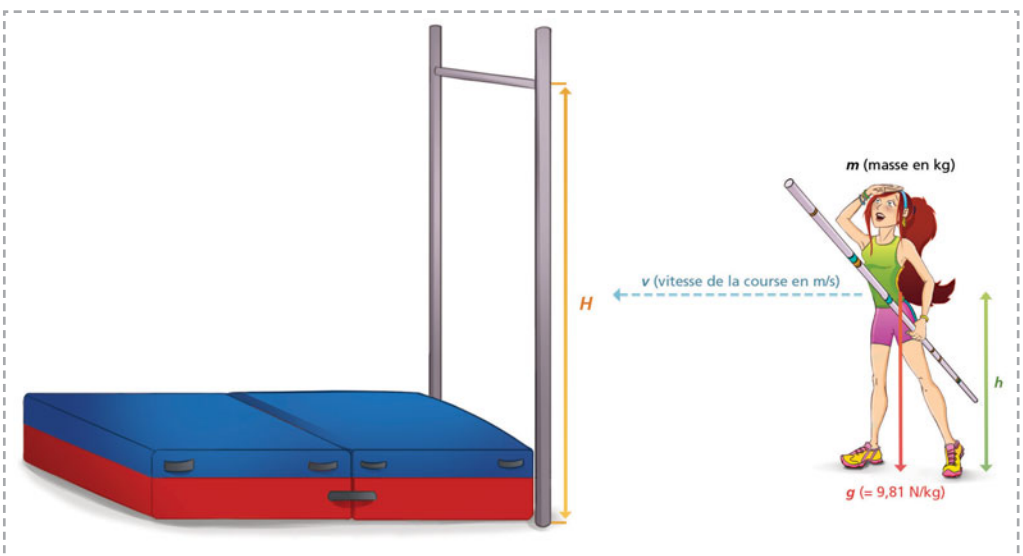
Coup de pouce

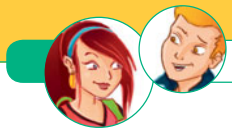
En une heure, la voiture la plus rapide parcourt combien de kilomètres de plus que la plus lente ? La voiture la plus lente parvient à l'arrivée combien de temps après la plus rapide ?

Réponse : 8. 160 km/h.

9. L'équation du perchiste★★

Max, dans un article scientifique sur le saut à la perche, découvre l'équation suivante sensée modéliser la dynamique d'un saut : $1/2\ mv^2 + mgh = mgH$.





Coup de pouce

On peut simplifier l'équation en divisant les deux membres par *m*. En remplaçant toutes les données connues par leur valeur, on obtient une équation d'inconnue *v* qu'il suffit de résoudre.

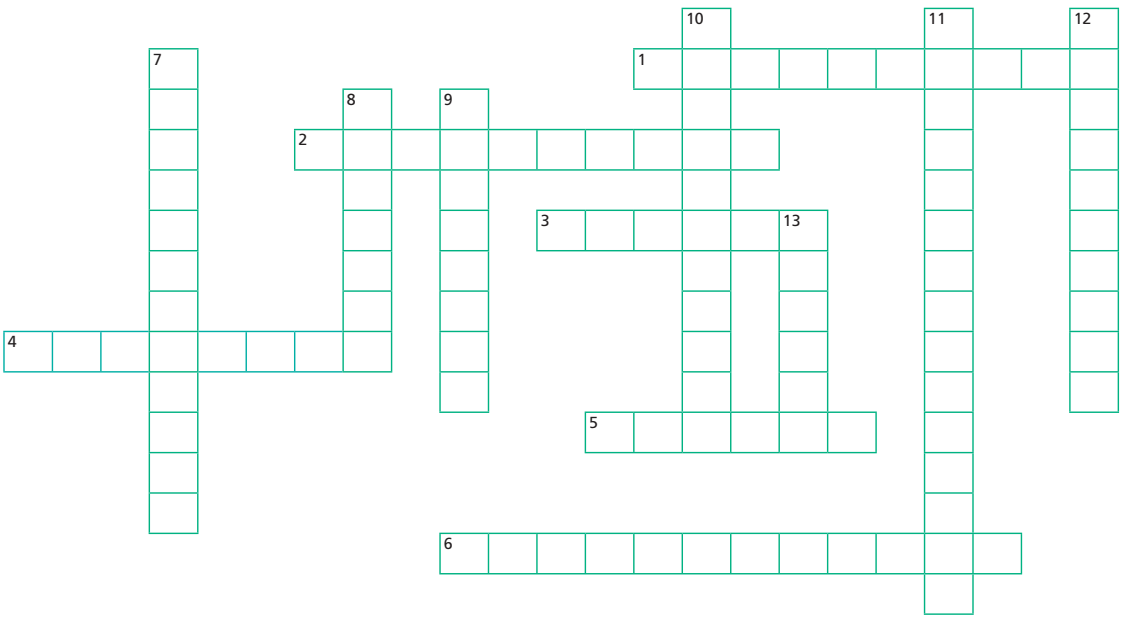
Dans cette équation, *m* désigne la masse du perchiste (en kg), *v* sa vitesse au moment de l'impulsion (en m/s), *g* la constante de la gravitation (égale à environ 9,81 N au niveau de la mer), *h* la hauteur du centre de gravité du sauteur (correspondant approximativement à la hauteur de son nombril lors de l'impulsion) et *H* la hauteur franchie par le sauteur.

Le champion du monde Renaud Lavillenie mesure 1,76 m. On considère que le rapport entre la taille et la hauteur du nombril d'un être humain est approximativement égal au nombre d'or (environ 1, 618).

Sachant que Renaud Lavillenie a sauté 6,16 m lors de son record du monde, quelle était sa vitesse lors de l'impulsion ?

Réponse : 9. Environ 9,97 m/s, ce qui est très proche de la vitesse des meilleurs sprinters mondiaux sur 100 m, malgré le poids de la perche à porter.

MOTS CROISÉS



Définitions

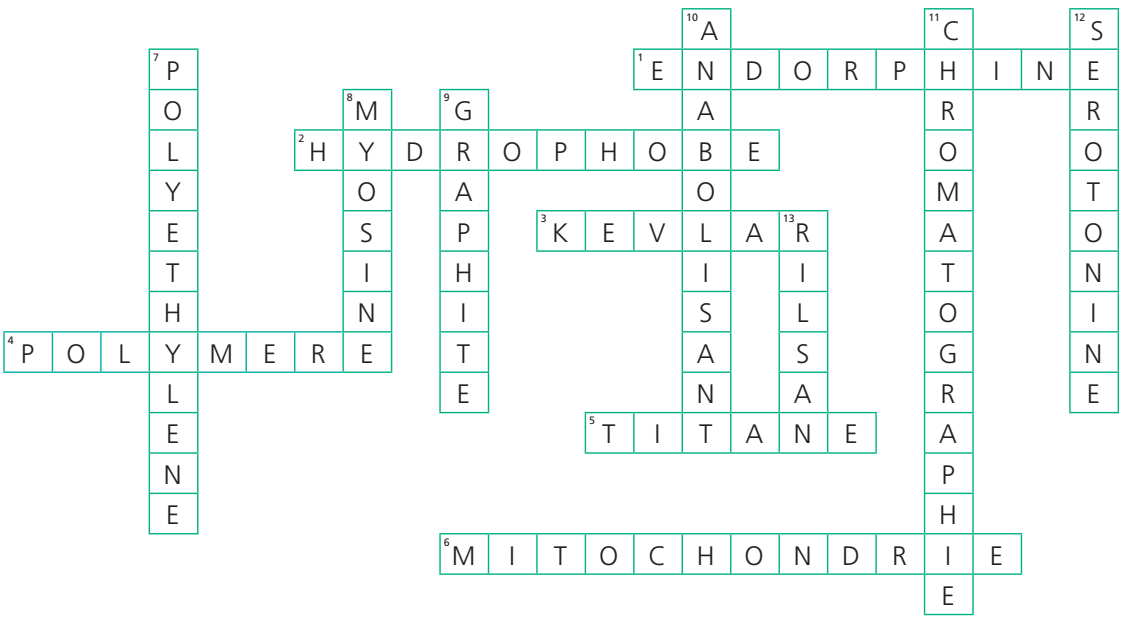
Horizontalement

1. Molécule du bonheur du sportif.
2. Qui repousse l'eau.
3. Fibre synthétique du gilet des épéistes.
4. Molécules formant de longues chaînes.
5. Métal léger et résistant.
6. On les appelle les « poumons de nos cellules musculaires ».

Verticalement

7. Le gazon artificiel et les semelles de ski utilisent ce polymère de synthèse.
8. Molécule qui intervient dans la contraction musculaire.
9. Une des formes du carbone.
10. Molécule dopante favorisant l'accroissement musculaire.
11. Technique de tri des différentes espèces moléculaires d'un mélange.
12. Molécule de l'énergie, de l'éveil et du tonus fabriquée par le cerveau.
13. Nom d'une fibre fabriquée à partir de l'huile de ricin.

Solution


1 ENDORPHINE
2 HYDROPHOBE
3 KEVLAR
4 POLYMERE
5 TITANE
6 MITOCHONDRIE
7 POLYETHYLENE
8 MYOSINE
9 GAPHITE
10 ADRENALINE
11 CHROMATOGRAPHIE
12 SEROTONINE
13 RILSAN

This page intentionally left blank

This page intentionally left blank